МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА И УСИЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Материалы Всероссийской
научно-практической конференции
(г. Краснодар, 4 марта 2026 г.)

Краснодар
2026

УДК 51:624
ББК 22.1:38.5
Р17

Р17 **Развитие методов расчета и усиления строительных конструкций** : Материалы Всероссийской научно-практической конференции (г. Краснодар, 4 марта 2026 г.) / ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет». – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2026. – 150 с.

ISBN 978-5-91718-803-4

Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Развитие методов расчета и усиления строительных конструкций», проведенной в ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» 4 марта 2026 г. посвящены важным вопросам проектирования железобетонных, каменных, металлических строительных конструкций, фундаментов и моделирования их работы в условиях нового строительства и реконструкции зданий и сооружений.

Конференция обобщила результаты последних достижений и перспективы развития промышленного и гражданского строительства (проектирование, организация всех видов работ, строительные материалы и т.д.).

ББК 22.1:38.5
УДК 51:624

ISBN 978-5-91718-803-4
© Коллектив авторов, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Аксенов А.Г., Починок В.П.
О развитии метода нормирования снеговой нагрузки с любой заданной обеспеченностью расчётных значений 5

Альзурфи М.К.А., Хорошев А.А., Леонова А.Н.
Применение фибробетона, пропитанного суспензией для усиления железобетонных плит против продавливания 27

Бердник А.А.
Коррозия сварных швов в металлических конструкциях 34

Буракова М.М., Голодкова М.М., Усанов С.В.
Оценка степени износа фасадных систем и несущих элементов по мультиспектральным изображениям 39

Верба И.В.
Достоинства и недостатки гофрированных или перфорированных балок 45

Ерохова А.В.
Применение наземного лазерного сканирования и информационного моделирования в реконструкции объектов культурного наследия 56

Козуб А.П., Руденко С.В., Усанов С.В.
Детектирование и классификация дефектов поверхностей бетона (трещины, сколы, расслоения) по фотографиям с использованием CNN (сверточных нейронных сетей) 63

Коник А.Ю., Прокопцова Н.С.
Расчетная оценка долговечности деревянных конструкций при эксплуатации в агрессивных средах 68

Коник А.Ю., Финагенова Н.В.
Анализ напряженного состояния клееной древесины при неравномерном распределении нагрузок 74

Кубрина С.А.
Зеленые кровли как метод повышения энергоэффективности при реконструкции городской застройки 79

Ливенцова А.В.
Расчет и сравнение методов усиления железобетонных колонн: композитные материалы и традиционные методы 86

Липчанский М.И., Коник А.Ю., Кайшева В.А.
Особенности усиления плит перекрытий с дефектами бетона и коррозией арматуры композитным материалом 93

Мясникова Е.Р.
Повышение энергоэффективности при реконструкции жилых зданий за счет модернизации светопрозрачных конструкций 101

Олейникова И.Д.
Сравнительный анализ методов усиления железобетонных конструкций 107

Пиронко Д.К., Леонова А.Н.
Усиление подкрановой балки 115

Святун Ю.В.
Усиление железобетонных конструкций углеволокнистыми холстами 121

Хван А.Д., Смирнова В.В.
Особенности усиления сжатых железобетонных элементов композитными материалами 126

Хохлова С.А.
Применение полимерных композиционных материалов при реконструкции фасадов зданий 135

Чекменева П.А., Филева В.А., Усанов С.В.
Генеративное проектирование (Generative Desing) оптимальных строительных конструкций с помощью нейросетей и эволюционных алгоритмов 143

УДК 681.3:622

О РАЗВИТИИ МЕТОДА НОРМИРОВАНИЯ СНЕГОВОЙ НАГРУЗКИ С ЛЮБОЙ ЗАДАННОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬЮ РАСЧЁТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ

Аксенов Андрей Геннадиевич[1],
Починок Владимир Петрович[2],

Кубанский государственный технологический университет,

[1]a.g.axenov@gmail.com, [2]pochinokvp@gmail.com

****

Аннотация. Статистической обработкой вариационных рядов ежегодных максимумов веса снегового покрова (ВСП), зафиксированных на 26 метеостанциях Краснодарского края и Республики Адыгея с 1946 по 2023 годы, определены параметры двойного экспоненциального распределения Гумбеля I типа.

На основании вычисленных средних значений $\bar{s}$ и коэффициентов вариации V максимумов ВСП созданы карты их пространственного распределения для равнинной территории Краснодарского края и Республики Адыгея построением изолиний триангуляцией Делоне.

Определено соответствие «единичного» коэффициента редукции распределения Гумбеля среднему периоду повторяемости 6 лет (для рядов наблюдений от 30 до 150 лет) и 7 лет (для наблюдений продолжительностью более 150 лет). Выведены универсальные расчётные зависимости для текущего и перспективного определения значений ВСП с любой повторяемостью на основании «единичной».

Показано, что «единичное» значение ВСП учитывает влияние длины ряда и значения ВСП с другими повторяемостями относительно «единичного» возможно вычислять на основании распределения Гумбеля для генеральной совокупности. Составлена таблица индексов кратности среднего $I_{\bar{s}}^{6}$ для различных повторяемостей.

Выполнена сравнительная оценка полученных результатов со значениями ВСП в отечественных и зарубежных нормативных

документах и разработаны предложения по гармонизации норм России и Беларуси для нормативных значений ВСП.

Ключевые слова: годовые максимумы, вес снегового покрова, статистическое распределение, обеспеченность, период повторяемости, коэффициент вариации

В 2025 году мы незаметно пересекли семидесятилетие внедрения метода предельных состояний в качестве основы для расчёта строительных конструкций. Впервые в мире [1] метод предельных состояний был утверждён в СССР для обязательного применения с 1 января 1955 г., и до настоящего времени является базовым методом нормирования при проектировании большинства объектов строительства, как в нашей стране, так и за рубежом. Там он получил название «полувероятностного» подхода, основанного на частных коэффициентах надёжности при определении параметров нагрузок и сопротивлений материалов [2].

В 50–70 годах прошлого века учеными нашей страны разработаны научные основы решения задач нормирования нагрузок и сопротивлений материалов полностью на вероятностной основе, наиболее системно изложенные в монографии А.Р. Ржаницына [3]. Но и сегодня, в части атмосферных нагрузок, несмотря на наличие большого накопленного на метеостанциях СССР и Российской Федерации статистического материала о годовых максимумах веса снега и скоростей ветра, значения этих атмосферных нагрузок приведены в строительных нормах как детерминированные величины «полувероятностного» метода предельных состояний.

В.Д. Райзер [4, 5] указывал, что достигнутый в СССР к 1988–89 гг. уровень теоретических исследований позволил разработать «макет норм», определяющий место каждого элемента и принципы их определения на основании вероятностных расчётов. Важной задачей при практической реализации такого подхода является применение единых требований к нормированию параметров нагрузок и коренная переработка норм, основным содержанием которых станут данные о средних значениях нагрузок и коэффициентах вариации для них.

Основой для нормирования снеговых нагрузок на здания и сооружения в строительных нормах всех стран, где в зимний пе-

риод наблюдается выпадение твердых атмосферных осадков, служат многолетние ряды измеряемых годовых максимумов веса снегового покрова (ВСП) земли. На основании этих данных вычисляются с заданной вероятностью непревышения расчетные значения веса снега, включаемые в национальные нормативы для строительства.

В отечественных нормах по нагрузкам и воздействиям средние периоды однократного превышения расчетных значений ВСП составляли:

– в среднем 10 лет – в СНиП II-6-74 и ранее, в СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия» до 2003 года;

– 25 лет в СНиП 2.01.07-85* с изм. № 2 от 2003 г. и в СП 20.13330.2011;

– 50 лет в современных нормах СП 20.13330.2016 (далее СП 20).

При этом в СНиП 2.01.07-85* был реализован принцип районирования, включающий в один район территории с ВСП примерно на 1/3 больше и на 2/3 меньше интервала принятых значений для границ районов, что допускает их существенные отклонения от данных метеонаблюдений [6] и в ряде случаев приводит к занижению надежности несущих конструкций.

Принятая в современном своде правил СП 20 равномерная градация снеговых районов с интервалом нормативных значений 0,5 кН/м^2 не лишена того же недостатка, т.е. существующая методика нормирования и территориального районирования снеговой нагрузки не обеспечивает достаточно точного определения ее расчетных значений для проектирования несущих конструкций покрытий. Не обеспечивается также равнонадежность одинаковых строительных объектов, возводимых в разных населенных пунктах общего для них снегового района.

В разработанных нами на кафедре Строительных конструкций КубГТУ в 2000–2002 гг. территориальных строительных нормах Краснодарского края СНКК 20-303-2002 (ТСН 20-302-2002 Краснодарского края) «Нагрузки и воздействия. Ветровая и снеговая нагрузки» [7] за критерий надежности был принят 25-летний период непревышения, что соответствовало уровню обеспеченности ВСП P = 0,96 и было согласовано с планируемым в то время

ЦНИИСКом им. В.А. Кучеренко переходом к этому уровню в общегосударственных нормативных документах. В этих территориальных нормах, кроме карты районирования снеговой нагрузки приведена также таблица расчетных значений ВСП для всех метеостанций Краснодарского края, что уменьшило погрешность назначения нагрузок на покрытия от веса снега.

После повышения в СП 20 обеспеченности расчетных значений ВСП до значения P = 0,98, и карта, и таблица СНКК 20-303-2002 потеряли актуальность, так же, как и карты климатических нагрузок в предыдущих редакциях федеральных норм. Вместе с тем, с введением в 2019 г. изменения № 2 к СП 20, в нём тоже появилась таблица К.1, в которой для нескольких наиболее крупных населенных пунктов всех регионов приведены нормативные значения ВСП с неопределенной обеспеченностью. Ясно только то, что умноженное на коэффициент надежности $\gamma_f = 1{,}4$ нормативное значение дает превышаемый один раз в 50 лет расчетный ВСП (п. 10.2 изм. № 2).

Постоянное значение коэффициента надежности для всех территорий и снеговых районов весьма условно и не может иметь какого-либо статистического обоснования, поскольку оно зависит только от коэффициента вариации годовых максимумов ВСП, колеблющегося в широких пределах в зависимости от климатических условий регионов. Также очевидно, что для всех остальных населенных пунктов, не включенных в табл. К.1, принимаемые по карте районирования ВСП значения снеговой нагрузки будут определяться с погрешностями того же порядка, как это было в вышеописанных предшествующих редакциях норм. Решение этой проблемы возможно только при переходе к полностью вероятностно-статистическому описанию нагрузки.

Значение ВСП с заданной обеспеченностью общепринято [6, 8] вычисляется с использованием распределения максимумов Гумбеля I типа и включает в себя в качестве расчётных параметров среднее значение ВСП, стандартное отклонение (или их соотношение – коэффициент вариации), а также коэффициент редукции, увязывающий длину ряда наблюдений ВСП (ретроспективу) с желаемым периодом его непревышения (перспективой). Каждый из этих параметров может существенно отличаться от других, как для раз-

личных пунктов метеонаблюдений, в зависимости от топографических особенностей местности, близости водоёмов, ориентации по сторонам света, преобладающих направлений ветра и проч., так и для вида объекта в зависимости от его ответственности и срока эксплуатации.

Таким образом, не зная составляющих нормируемого значения ВСП, с одной стороны, для различных объектов мы получаем различную надёжность такого нормирования, а с другой стороны – не имеем практической возможности «настроить» требуемую обеспеченность, в случае её отличия от некоторой заданной нормами неизвестной. Поэтому основным эффектом внедрения прямого вероятностного нормирования является *знание уровня надёжности* проектируемых конструкций [5].

Задачей работы является определение средних значений и коэффициентов вариации рядов ежегодных максимумов веса снегового покрова, вычисленных по данным наблюдений определённой продолжительности на метеостанциях Краснодарского края и Республики Адыгея с оценкой их пространственного распределения и созданием соответствующих карт.

Цель работы состоит в том, чтобы предложить методику вычисления расчётного значения ВСП с любой заданной обеспеченностью для любого заданного местоположения строительного объекта на основе показанных на картах средних значений и коэффициентов вариации ВСП.

1. Материалы и методы

Исходными данными являются ряды измерений годовых максимумов ВСП с 1946 по 1999 гг. на метеостанциях Краснодарского края и Республики Адыгея. С учётом ежегодного прироста базы для нормирования атмосферных нагрузок, границы анализируемых данных для всех метеостанций были расширены на десятилетие, прошедшее с момента создания территориальных норм, а в дальнейшем, для метеостанций с зафиксированными экстремальными значениями ВСП [9] – до 2023 г.

Экстремумы ВСП характерны для некоторых районов Южной Европы [8], где ряды годовых максимумов ВСП содержат одно или два очень больших значения. В существующих отечественных и зарубежных методиках такие значения отбрасывают-

ся при обработке вариационных рядов для нормирования «регулярных» нагрузок.

При подготовке региональных норм [7] выявленные на ряде метеостанций аномально высокие значения водосодержания снега нами также были исключены из вариационных рядов проверкой на соответствие критерию Шовене. Это было сделано в предположении, что такие аномалии весьма редки, их попадание в исследуемый примерно полувековой временной интервал случайно, и повторение близких к ним значений в ближайшие несколько десятилетий крайне маловероятно.

Однако, последующий анализ экстремальных значений ВСП [9], проведённый нами на основании данных метеонаблюдений до 2023 г. показал, что исключение экстремума позволяет достаточно точно нормировать снеговую нагрузку с 25-летней повторяемостью (подтверждая её надёжность при нормировании в СНКК), однако уже при 50-летней (и более) повторяемости (как принято в нынешнем СП 20) – корректность нормирования достигается лишь при учёте таких экстремумов.

Аппроксимация вариационных рядов ежегодных максимумов ВСП выполняется двойным экспоненциальным распределением Гумбеля I типа:

$$P(S) = \exp\left[-\exp\left(\frac{\alpha - S}{\beta}\right)\right], \qquad (1)$$

где $P(S)$ – вероятность непревышения в течение одного года любого заданного численного значения веса снегового покрова S; α и β – параметры распределения, определяемые аппроксимацией линеаризованного уравнения (1) методом наименьших квадратов.

Среднее значение и стандартное отклонение распределения Гумбеля:

$$\overline{S} = \alpha + 0{,}57722\beta\,;\ \sigma = \frac{\pi}{\sqrt{6}}\beta\,, \qquad (2)$$

коэффициент вариации выборки:

$$V = \frac{\sigma}{\overline{S}}. \qquad (3)$$

Для фактической длины рядов наблюдений N ежегодных максимумов водосодержания при вычислении расчётных значений ВСП с любым задаваемым периодом T однократного превышения, распределение Гумбеля с учётом (3) преобразуется к виду:

$$S(T,1) = \overline{S} - \sigma\left\{\frac{1}{\sigma_N}\left[\overline{y}_N + \ln\left(-\ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right)\right]\right\} = \\ = \overline{S} - k_N^T\sigma = \overline{S}(1 - Vk_N^T), \quad (4)$$

где $\overline{S}$ и σ – соответственно среднее значение и стандартное отклонение для выборки из N наблюдений; $\overline{y}_N$ и σ_N – аналогичные параметры распределения приведенных экстремальных значений $\Phi(x) = \exp(-e^{-y})$, табулированные в [10] для выборок объемом N = 8…1000; $(-k_N^T)$ – число стандартов (коэффициент редукции), на которое расчетное значение S(T,1) отстоит от среднего выборочного $\overline{S}$.

Коэффициент редукции распределения Гумбеля зависит от длины вариационного ряда N и задаваемого периода непревышения T (лет):

$$k_N^T = \frac{1}{\sigma_N}\left[\overline{y}_N + \ln\left(-\ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right)\right] \quad (5)$$

и для генеральной совокупности при $N \to \infty$ преобразуется к виду:

$$k_{N\to\infty}^T = \frac{\sqrt{6}}{\pi}\left[0{,}57722 + \ln\left(-\ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right)\right]. \quad (6)$$

Подставляя (6) в (4) с учётом (3), получаем:

$$S(T,1) = \overline{S}\left\{1 - V\frac{\sqrt{6}}{\pi}\left[\ln\left(-\ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right) + 0{,}57722\right]\right\}. \quad (7)$$

Являясь частным случаем зависимости (4), уравнение (7) позволяет вычислить ВСП с заданной повторяемостью для истинного значения коэффициента вариации, достижимого лишь при «бесконечной» длине ряда наблюдений. В нормах Евросоюза [8] и Республики Беларусь [11] уравнение (7) используется для

относительной корректировки снеговых нагрузок на грунт в зависимости от периода повторяемости.

2. Результаты исследования

На основании составленных по метеоданным вариационных рядов максимумов ВСП нами определены параметры распределения Гумбеля I типа и вычислены по (2) и (3) средние значения $\bar{S}$, стандартные отклонения σ и коэффициенты вариации V веса снегового покрова (табл. 1). Все расчёты выполнены для полных вариационных рядов, в том числе, учитывающих экстремальные значения ВСП [9].

Таблица 1 – Средние значения $\bar{S}$ и коэффициенты вариации V ВСП

№ п/п	Метеостанция	Длина ряда ВСП N	Сред. значение $\bar{S}$	Коэф. вариации V
1	Анапа	44	***11,3***	0,99
2	Армавир	62	28,4	0,86
3	Белая Глина	67	28,6	0,88
4	Белореченск	78	37,0	0,72
5	Джубга	41	15,7	0,80
6	Ейск	49	20,0	0,68
7	Каневская	78	23,8	1,13
8	Кореновск	65	29,5	0,98
9	Краснодар	***78***	34,3	1,39
10	Кропоткин	67	30,2	0,84
11	Крымск	78	30,5	1,12
12	Кущёвская	67	29,3	0,77
13	Лабинск	78	***42,4***	***1,43***
14	Майкоп	67	39,6	0,83
15	Отрадная	67	32,2	0,74
16	Приморско-Ахтарск	48	22,4	***0,66***
17	Псебай	55	31,8	0,81
18	Славянск-на-Кубани	67	26,3	1,13
19	Сосыка	67	28,4	0,71
20	Сочи	***31***	14,5	1,04
21	Староминская	67	29,3	0,98
22	Темрюк	44	13,7	0,74
23	Тимашевск	78	28,9	1,08
24	Тихорецк	78	31,7	0,96
25	Туапсе	41	14,6	0,80
26	Усть-Лабинск	67	35,8	0,75

2.1. Карты математических ожиданий $\bar{S}$ и коэффициентов вариации V ВСП распределения Гумбеля I типа

Средние значения $\bar{S}$ и коэффициенты вариации V веса снегового покрова земли нанесены на карты (рис. 1, 2) возле метеостанций, на которых они измерены. Пространственные распределения этих параметров получены построением изолиний методом триангуляции Б.Н. Делоне.

Карта на рисунке 1 демонстрирует полученную однополюсную модель пространственного распределения средних значений ВСП $\bar{S}$ с «полюсом снежности» в юго-восточных предгорьях (г. Лабинск) с плавным понижением от него во всех направлениях равнинной территории.



Рисунок 1 – Карта средних значений $\bar{S}$ (кгс/м^2) веса снегового покрова земли согласно распределению Гумбеля I типа

Карта на рисунке 2 отображает полученную трёхполюсную модель пространственного распределения коэффициентов вариации v ВСП, «полюсá вариативности» которой полностью совпадают с экстремальными значениями ВСП, зафиксированными за весь период наблюдений с середины XX века [9].

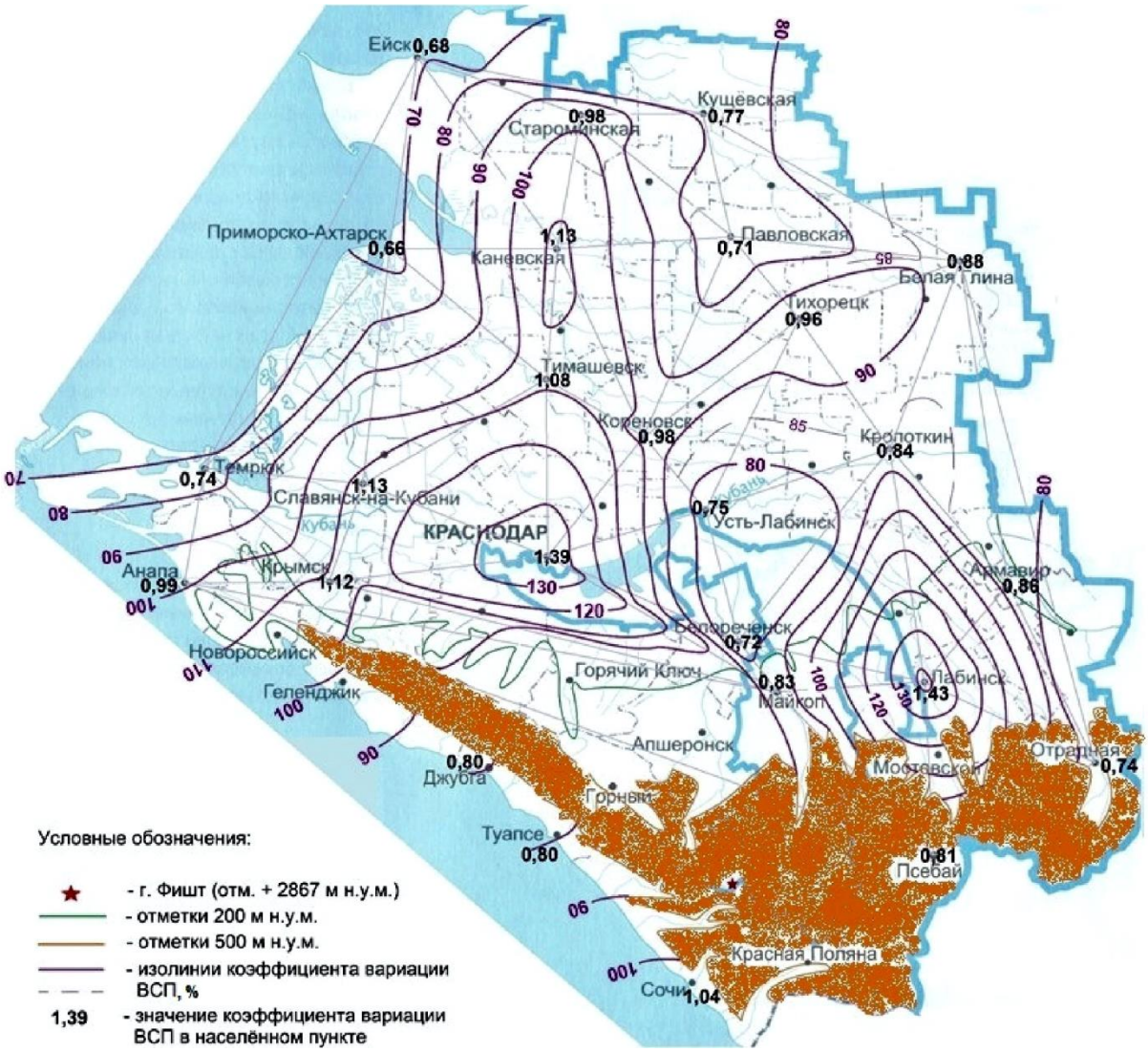


Рисунок 2 – Карта коэффициентов вариации V веса снегового покрова земли согласно распределению Гумбеля I типа

2.2. Зависимость значений ВСП с различной обеспеченностью от длины ряда наблюдений

Обширный массив данных измерений ежегодных максимумов водосодержания снега на равнинных метеостанциях Краснодарского края и Республики Адыгея [12] с различными длинами вариационных рядов и большим пространственным разбросом средних значений $\bar{S}$ и коэффициентов вариации V веса снегово-

го покрова (табл. 1) позволяет сравнить значения ВСП, вычисленные с учётом коэффициента редукции *выборки* (5) и *генеральной совокупности* (6).

Сравнительный анализ показал, что коэффициент редукции *выборки* при её объёме менее 30 лет на 15…45 % превышает коэффициент редукции *генеральной совокупности* при равных периодах повторяемости. Для рассмотренных нами фактических длин рядов наблюдений (31…78 лет) коэффициент редукции *генеральной совокупности* на 8…14 % занижает значения ВСП с 50-летней повторяемостью в сравнении с *выборочным,* что существенно превышает общепринятую точность инженерных расчётов.

Таким образом, *первичное* вычисление значения ВСП на основании распределения Гумбеля I типа для *любого* периода непревышения необходимо выполнять с учётом длины ряда наблюдений по формуле (4), а дальнейший переход к значениям ВСП с *другими* периодами повторяемости возможен через их соотношения к первичному посредством уравнения (7) для *генеральной совокупности*, что существенно облегчает рабочие вычисления при обеспечении должной надёжности нормирования.

2.3. Определение значений ВСП с заданной обеспеченностью

Как показано в п. 2.2., расчёт первичного значения ВСП с заданной обеспеченностью выполняется с использованием, помимо средних значений $\bar{S}$ и коэффициентов вариации V (рис. 1, 2), третьего расчётного параметра – коэффициента редукции, учитывающего количество лет наблюдений. Игнорирование длины ряда снижает точность вычислений, однако, его учёт ведёт к усложнению практических расчётов: требуется знание учтённых длин рядов и работа с табулированными значениями [10].

Кроме того, длины использованных рядов могут быть различны по метеостанциям и определение расчётного ВСП для площадки между несколькими метеостанциями, требует расчёта ВСП для каждой из таких метеостанций с дальнейшей интерполяцией, т.е. размывает практическую значимость карт $\bar{S}$ и V (рис. 1, 2). Возможно, поэтому до настоящего времени аппарат теории случайных функций не доведён до широкого применения в инженерных расчётах [3].

Расчёт значений ВСП с заданной обеспеченностью на основании только известных параметров – среднего значения $\bar{S}$ и коэффициента вариации V, но с учётом ещё двух параметров распределения приведенных экстремальных значений, зависящих от длины ряда – $\bar{y}_N$ и σ_N [10], возможен из (4) при «единичном» коэффициенте редукции $(-k_N^T) = 1$.

«Обратное» вычисление для каждой метеостанции из уравнения (5) периода однократного превышения T, соответствующего «единичному» коэффициенту редукции, или «единичного» периода непревышения:

$$T_{k=-1} = \left\{1 - \exp\left[-\exp\left(-\sigma_N - \bar{y}_N\right)\right]\right\}^{-1}, \qquad (8)$$

для длин рядов 30…150 лет (соответствующих текущим и перспективным наблюдениям) приводит к интервалу 5,72…6,50 лет, или, с учётом ежегодной кратности наблюдений, $T_{k=-1} = 6$ лет (обеспеченность P = 0,8333).

При коэффициенте редукции $k_N^T = -1$, «единичное» значение ВСП из (4) равно сумме среднего значения и стандарта распределения Гумбеля, и данных, приведённых на картах $\bar{S}$ и V (рис. 1) достаточно для его расчёта:

$$S(6,1) = S_{g,6} = \bar{S}(1 + V). \qquad (4.1)$$

Среднее отличие значений ВСП с периодом непревышения 6 лет, вычисленных по (4), от суммы (4.1) средневыборочного и одного стандартного отклонения (ошибка округления ежегодной кратности) не превышает 1,5 %, что соответствует точности инженерных расчётов.

Имея «единичное» значение ВСП, учитывающее в себе длину ряда, дальнейшие расчёты с любыми задаваемыми обеспеченностями выполняем относительно «единичного» по уравнению для *генеральной совокупности* (7), откуда для 6-летней повторяемости:

$$S(6,1) = S_{g,6} = \bar{S}\left\{1 - V\frac{\sqrt{6}}{\pi}\left[\ln\left(-\ln\left(\frac{6-1}{6}\right)\right) + 0,57722\right]\right\} = \qquad (7.1)$$

$$= \bar{S}\{1 + 0,877V\}$$

и далее, для *любого* иного периода непревышения – в зависимости от средневыборочного $\bar{S}$ и коэффициента вариации V:

$$S(T,1) = \bar{S}\frac{1+V}{1+0{,}877V}\left\{1 - V\frac{\sqrt{6}}{\pi}\left[\ln\left(-\ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right) + 0{,}57722\right]\right\}. \quad (9)$$

Совокупная ошибка относительного пересчёта, как среднее отклонение расчётных ВСП для каждого периода повторяемости по всем метеостанциям Краснодарского края и Республики Адыгея «напрямую» из уравнения (4) и «относительно» $S_{g,6}$ из уравнения (9), не превысила 1,5 %.

«Относительные» расчёты значений ВСП различной обеспеченности через 6-летний «единичный» период повторяемости также соответствуют логике зарубежных исследователей о применимости таких расчётов для периодов повторяемости более 5 лет [8, 11].

2.4. Сравнение значений ВСП по метеоданным и по СП 20

Вычисленные нами значения ВСП $S^{M}_{g,50}$ (табл. 2), *«метеорасчётные»* в логике СП 20, превышаются наблюдёнными максимумами ВСП почти в полном соответствии с числом периодов повторяемости – ноль раз для длин рядов до 50 лет и один раз для длин рядов более 50 лет [12].

Нормативные значения по СП 20 существенно и разнонаправленно отличаются от значений ВСП, полученных делением $S^{M}_{g,50}$ на коэффициент надёжности по нагрузке (столб. 7 табл. 2), при лучшем соответствии *«метеорасчётным»* ВСП $S^{M}_{g,50}$ (столбец 8 табл. 2).

Для одних метеостанций нормативное значение ВСП $S^{СП}_{g}$ в логике СП 20 приближается с точностью до 3 % к нормативному ВСП по метеоданным $S^{M}_{g,50} / \gamma^{СП}_{f}$, для других – с той же точностью – к расчётному $S^{M}_{g,50}$, как бы подтверждая, что нормативные значения нагрузок в СП 20 *назначены ориентировочно*, в основном, из практического опыта [5].

Таблица 2 – Сравнение ВСП по данным метеонаблюдений и по СП 20

№ п/п	Метеостанция	$S_{g,6}^{M}$	$S_{g,50}^{M}$	$\frac{S_{g,50}^{M}}{\gamma_f^{СП}}$	$S_g^{СП}$	$\frac{S_g^{СП}}{(S_{g,50}^{M}/\gamma_f^{СП})}$	$\frac{S_g^{СП}}{S_{g,50}^{M}}$
1	Анапа	22,7	44,2	31,6	51,0	*+61 %*	+15 %
2	Армавир	52,3	98,0	70,0	86,6	+24 %	–12 %
3	Белая Глина	53,1	100,0	71,4	101,9	*+43 %*	***+1 %***
4	Белореченск	62,7	112,0	80,0	101,9	+27 %	–9 %
5	Джубга	28,4	52,4	37,5	51,0	*+36 %*	***–3 %***
6	Ейск	33,5	59,3	42,3	51,0	+21 %	–14 %
7	Каневская	49,7	99,4	71,0	101,9	*+44 %*	***+3 %***
8	Кореновск	57,6	111,4	79,6	101,9	+28 %	–9 %
9	Краснодар	80,0	167,8	119,0	112,1	–6 %	*–33 %*
10	Кропоткин	54,6	101,6	72,5	71,4	***–2 %***	*–30 %*
11	Крымск	63,3	126,2	90,1	101,9	+13 %	–19 %
12	Кущёвская	51,1	93,0	66,5	101,9	*+53 %*	+10 %
13	Лабинск	100,8	212,8	152,0	101,9	*–33 %*	*–52 %*
14	Майкоп	71,5	132,6	94,7	91,7	***–3 %***	*–31 %*
15	Отрадная	55,3	99,5	71,1	101,9	*+43 %*	***+2 %***
16	Приморско-Ахтарск	37,1	65,1	46,5	51,0	+10 %	–22 %
17	Псебай	57,1	105,4	75,3	101,9	*+35 %*	***–3 %***
18	Славянск-на-Кубани	55,0	110,1	78,6	101,9	+30 %	–7 %
19	Сосыка	48,0	85,6	61,2	101,9	*+67 %*	+19 %
20	Сочи	30,2	59,8	42,8	101,9	*+138 %*	*+70 %*
21	Староминская	57,1	110,5	79,0	101,9	+29 %	–8 %
22	Темрюк	23,8	43,0	30,7	51,0	*+66 %*	+19 %
23	Тимашевск	58,7	116,1	82,9	101,9	+23 %	–12 %
24	Тихорецк	60,8	116,7	83,4	101,9	+22 %	–13 %
25	Туапсе	26,3	48,6	34,7	101,9	*+194 %*	*+110 %*
26	Усть-Лабинск	62,0	112,2	80,2	101,9	+27 %	–9 %

Для предгорного Лабинска и для прибрежных Сочи и Туапсе, вместе относимых СП 20 ко II снеговому району, нормативный $S_g^{СП}$ в первом случае от 1,5 (для $S_{g,50}^{M}/\gamma_f^{СП}$) до 2,1 (для $S_{g,50}^{M}$) раза *занижен*, а во втором – от 1,7 (для $S_{g,50}^{M}$) до 2,9 (для $S_{g,50}^{M}/\gamma_f^{СП}$) раза *завышен*, явно указывая на различную надёжность нормирования ВСП.

Рассматривая раздельно понятия «*нормативного*» и «*базового*» значения нагрузки, объединённые в п. 4.1 СП 20, предлага-

ется (применительно к весу снегового покрова) обозначить описанное в п. 2.3. «*единичное*» значение ВСП, соответствующее $S^{M}_{g,6}$, как «*базовое*».

Сравнительный анализ *нормативного* ВСП по СП 20 показывает его лучшее соответствие значению ВСП, рассчитанному по метеоданным с 50-летней повторяемостью, что соответствует *характеристическому* значению, принятому в нормах Евросоюза [8] и в нормах Республики Беларусь, где оно также обозначено и как *нормативное* (п. 1.6.1. [11]). Таким образом, обозначение в российских нормах значения ВСП с 50-летней повторяемостью как *нормативного* гармонизирует СП 20 с [11], а затем и с [8].

Отношение *нормативного* значения ВСП к *базовому* в их предложенном понимании можно рассмотреть в качестве текущего коэффициента надёжности по весу снегового покрова, который для равнинных районов Краснодарского края и Республики Адыгея составил в среднем 1,9. Существенно более высокое, чем установлено действующим СП 20 значение γ_f, связано с более высокими коэффициентами вариации рядов метеонаблюдений ВСП в южных районах ЕЧР.

2.5. Переход между значениями ВСП с разной повторяемостью

Обозначим отношение значения ВСП с периодом повторяемости T к среднему значению ВСП в (9) как *«индекс кратности среднего»* $I^{6}_{\bar{S}}$ при 6-летней «единичной» повторяемости (для рядов наблюдений до 150 лет):

$$I^{6}_{\bar{S}} = \frac{S(T,1)}{\bar{S}} = \frac{1+V}{1+0{,}877V}\left\{1 - V\frac{\sqrt{6}}{\pi}\left[\ln\left(-\ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right) + 0{,}57722\right]\right\}, \quad (9.1)$$

который возможно табулировать (табл. 3) для характерных периодов непревышения в зависимости от коэффициента вариации V и периода повторяемости T (лет).

Значения индексов кратности среднего $I^{6}_{\bar{S}}$ из (9.1) для *генеральной совокупности* при 6-летнем периоде повторяемости (вторая строка табл. 3) в точности равны множителю в скобках уравнения (4.1) для *выборки*, а отношения индексов кратности сред-

него I_S^6 между собой при одинаковых коэффициентах вариации (по столбцам) равны отношениям значений ВСП с различными периодами повторяемости (по строкам).

Таблица 3 – Индексы кратности средних значений ВСП I_S^6

V / *T*, лет	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40
6	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,10	2,20	2,30	2,40
25	1,66	1,88	2,11	2,33	2,56	2,79	3,02	3,24	3,47	3,70	3,93	4,16
50	1,83	2,11	2,39	2,68	2,96	3,25	3,54	3,83	4,12	4,41	4,70	4,99
100	2,00	2,34	2,68	3,02	3,37	3,71	4,06	4,41	4,76	5,11	5,46	5,81
150	2,10	2,47	2,84	3,22	3,60	3,98	4,36	4,75	5,13	5,51	5,90	6,29
200	2,17	2,56	2,96	3,36	3,77	4,17	4,58	4,99	5,39	5,80	6,21	6,63
500	2,39	2,86	3,33	3,81	4,29	4,78	5,26	5,75	6,24	6,72	7,21	7,71
1000	2,55	3,08	3,62	4,15	4,69	5,23	5,78	6,32	6,87	7,42	7,97	8,52
5000	2,94	3,60	4,27	4,94	5,62	6,30	6,98	7,66	8,35	9,03	9,72	10,41
10000	3,11	3,83	4,55	5,28	6,02	6,75	7,49	8,24	8,98	9,73	10,48	11,23

При периодах повторяемости, не указанных в таблице 3, значения индекса кратности среднего I_S^6, для определённого коэффициента вариации возможно вычислить из (9.1) либо определить линейной интерполяцией между значениями логарифмов периодов повторяемости T (лет) [9].

Таким образом, значение ВСП для любого местоположения с любой наперёд заданной обеспеченностью может быть рассчитано по данным карт на рисунках 1 и 2 из уравнений (4.1) и (9.1), либо при помощи таблицы 3.

2.6. Индекс кратности I_S^6 в пространстве и времени

Изначально вычисленные по эмпирическим метеоданным Краснодарского края и Республики Адыгея для рядов наблюдений с 1946 по 2023 гг. (V = 0,7…1,4) значения индексов кратности среднего ВСП были аналитически расширены на любой интервал коэффициентов вариации, свойственных другим территориям.

Очевидно, значение ВСП, рассчитанное в зависимости от выборочного среднего и коэффициента вариации, отличается для наборов данных разных метеостанций, а для одной метеостанции – для разного числа лет наблюдений, однако сам индекс кратности

$I_{\overline{S}}^{6}$ носит экстерриториальный характер и универсален для сегодняшних и перспективных (до 150 лет) рядов метеоданных, подчиняющихся распределению Гумбеля I типа.

При $V = 0{,}4$ «единичный» индекс кратности среднего $I_{\overline{S}}^{6} = 1{,}4$ близко соответствует и вариации, и периоду непревышения, и коэффициенту надёжности по нагрузке γ_f ВСП, принятых в нормах СССР [5].

При продолжении наблюдений и увеличении объёмов выборок более 150 лет «единичный» период непревышения из (8) составит 7 лет. При этом, в формуле (4.1) при неизменной правой части лишь изменится обозначение «единичного» значения ВСП с $S_{g,6}$ на $S_{g,7}$, для которого из (7) для *генеральной совокупности*:

$$S(7,1) = S_{g,7} = \overline{S}\left\{1 - V\frac{\sqrt{6}}{\pi}\left[\ln\left(-\ln\left(\frac{7-1}{7}\right)\right) + 0{,}57722\right]\right\} = \overline{S}\{1 + 1{,}0078V\}, \quad (7.2)$$

и значение ВСП для *любого* периода непревышения:

$$S(T,1) = \overline{S}\frac{1+V}{1+1{,}0078V}\left\{1 - V\frac{\sqrt{6}}{\pi}\left[\ln\left(-\ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right) + 0{,}57722\right]\right\}, \quad (10)$$

с индексом кратности среднего $I_{\overline{S}}^{7}$ для рядов наблюдений более 150 лет:

$$I_{\overline{S}}^{7} = \frac{S(T,1)}{\overline{S}} = \frac{1+V}{1+1{,}0078V}\left\{1 - V\frac{\sqrt{6}}{\pi}\left[\ln\left(-\ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right) + 0{,}57722\right]\right\}. \quad (10.1)$$

Из (10.1) уточнятся значения $I_{\overline{S}}^{7}$ в таблице 3, оставаясь неизменными во второй строке (изменится лишь обозначение «*единичного*» периода повторяемости с 6 на 7 лет). В остальных строках индекс кратности *уменьшится* от 1,2 % (при V = 0,1) до 8,5 % (при V = 1,5) в зависимости от коэффициента вариации и независимо от периода повторяемости.

3. Выводы

По результатам аппроксимации полных вариационных рядов ежегодных максимумов веса снегового покрова [9] двойным

экспоненциальным распределением Гумбеля I типа [6, 8] нами вычислены параметры этого распределения и определены средние значения $\overline{S}$, стандартные отклонения σ и коэффициенты вариации V ВСП для каждой метеостанции (табл. 1).

Анализ вычисленных средних значений и коэффициентов вариации ВСП выявил их пространственное распределение на равнинной территории Краснодарского края и Республики Адыгея, что позволило построить соответствующие карты этих параметров (рис. 1 и 2).

Получена «однополюсная» модель пространственного распределения средних значений ВСП с «полюсом снежности» в г. Лабинск и «трёхполюсная» модель распределения коэффициентов вариации с «полюсами вариативности», совпадающими с местоположениями «аварийных» экстремумов, зафиксированными в городах Краснодар и Лабинск и в станице Каневской [9].

С учётом анализа данных 26-ти метеостанций с фактическими длинами рядов наблюдений 31…78 лет [12], обнаружившего занижение значений ВСП на 8…14 % при расчёте с коэффициентом редукции для *генеральной совокупности* (6), нами показано, что *первичное* вычисление значения ВСП на основании распределения Гумбеля I типа для любого периода непревышения следует выполнять с учётом объёма *использованной выборки* по формуле (4). Дальнейший переход к значениям ВСП с *другими* периодами повторяемости возможен через их соотношения с *первичным* посредством уравнения (7) для *генеральной совокупности*.

Для практического использования карт средних значений и коэффициентов вариации ВСП в инженерных расчётах вычислен период повторяемости ВСП, соответствующий «*единичному*» коэффициенту редукции $(-k_N^T) = 1$ по формуле (5).

Для длин рядов 30…150 лет, в большинстве своём соответствующих текущим и перспективным наблюдениям, «*единичный*» период непревышения с учётом ежегодной кратности наблюдений составил $T_{k=-1} = 6$ лет (обеспеченность P = 0,8333).

Соответствующее ему «*единичное*» значение ВСП $S_{g,6}$ из уравнения *выборки* (4) равняется сумме среднего значения и одного стандарта ВСП распределения Гумбеля. Таким образом,

данные, приведённые на картах $\bar{S}$ и V (рис. 1 и 2), являются необходимыми и достаточными для определения «*единичного*» значения ВСП $S_{g,6}$ в любой точке равниной части Краснодарского края и Республики Адыгея.

Сравнение значений $S_{g,6}$, вычисленных из уравнения (4.1) и из уравнения (4) для *выборки* с учётом коэффициента редукции для различных длин рядов по данным 26 метеостанций, показало их среднее отличие («ошибку округления ежегодной кратности») в пределах 1,5 %.

Значения ВСП с периодами повторяемости, превышающими «*единичный*», определяются *относительно* $S_{g,6}$ по уравнению (9), получаемому из распределения для *генеральной совокупности* (7).

На основании сравнения результатов поверочного «*прямого*» расчёта значений ВСП с различными обеспеченностями из уравнения (4) и полученных «*относительно*» $S_{g,6}$, совокупная ошибка для каждого периода повторяемости не превысила 1,5 %. Таким образом, для всех рассмотренных метеостанций Краснодарского края и Республики Адыгея, в т.ч., с зафиксированными экстремумами [9], надёжность значений ВСП с любым задаваемым периодом повторяемости, рассчитанных относительно «единичного» $S_{g,6}$, обеспечена.

Выполненное сравнение значений ВСП, вычисленных по метеоданным, с *нормативными* значениями по СП 20, показало их существенное и разнонаправленное взаимное отклонение, что указывает на отличающуюся надёжность нормирования ВСП для разных населённых пунктов.

Применительно к разделу «Снеговые нагрузки» СП 20 предложено рассмотреть возможность обозначения «*единичного*» значения ВСП с 6-летним периодом непревышения как «*базового*», а значения ВСП с 50-летним периодом непревышения как «*нормативного*», тем самым гармонизируя СП 20 с [11], а в дальнейшем и с [8].

Отношение значения ВСП с произвольным периодом повторяемости к среднему значению ВСП $\bar{S}$ предлагается обозначить как «индекс кратности среднего» $I_{\bar{S}}^{6}$ при 6-летней «единичной»

повторяемости, используемый в формуле (9.1) при длине рядов наблюдений от 30 до 150 лет.

Установлено, что индекс кратности среднего $I_{\overline{S}}^{6}$ имеет универсальный характер для случайных величин, подчиняющихся распределению Гумбеля, и зависит только от коэффициента вариации выборки и задаваемого периода повторяемости случайной величины. Характерные значения этого индекса приведены в таблице 3. Соотношения индексов кратности среднего $I_{\overline{S}}^{6}$ при одинаковых коэффициентах вариации (столбцы табл. 3) равны отношениям соответствующих значений ВСП с различными периодами повторяемости.

Значения «единичных» индексов кратности среднего $I_{\overline{S}}^{6}$ при 6-летнем периоде повторяемости (вторая строка в табл. 3) являются переходными между распределением Гумбеля для *выборки* (4) и для *генеральной совокупности* (7).

Показано, что с ростом числа наблюдений «единичный» период непревышения увеличивается, и для выборок длиной более 150 лет (вплоть до генеральной совокупности $N \to \infty$) составляет $T_{k=-1} = 7$ лет (обеспеченность P = 0,8571), для которого также определен «единичный» индекс кратности среднего $I_{\overline{S}}^{7}$ с соответствующей расчётной зависимостью (10.1).

Однако, для достижения такого объёма выборок и эмпирического подтверждения 7-летнего «единичного» периода повторяемости, необходимо продолжать метеонаблюдения за снежным покровом на территории Краснодарского края и Республики Адыгея, особенно в прибрежных и предгорных районах, где также целесообразно организовать регулярное непосредственное измерение водосодержания снега.

Заключение

Разработка норм полностью на вероятностной основе сегодня всё ещё представляется *будущим* развития международных и отечественных стандартов в строительстве. В отечественных нормах, как и в зарубежных, для каждого вида расчётных параметров законодательно «предустановлен» некоторый уровень

надёжности, и до настоящего времени не предложено простого механизма определения этого уровня участниками строительства.

Вместе с тем, на отечественных метеостанциях накоплен большой объём статистических данных о снеговом покрове, разработан необходимый математический аппарат и имеются достаточные и доступные аппаратные и программные вычислительные мощности для обработки этих данных.

В рамках подготовки к решению общей задачи разработки и взаимоувязки всех элементов полностью вероятностного расчета несущих строительных конструкций нами рассмотрен частный вопрос нормирования веса снега с любым *заранее заданным* уровнем обеспеченности.

Результатом выполненного нами вероятностного моделирования ВСП для условий Краснодарского края и Республики Адыгея стали карты средних значений и коэффициентов вариации ВСП и расчётный механизм определения на их основе значения ВСП с любой, наперёд задаваемой обеспеченностью.

Выполненная на основе имеющихся региональных данных работа выявила универсальный характер отношений значений ВСП с различными обеспеченностями через индексы кратности среднего, при справедливости соответствия их значений распределению Гумбеля I типа.

Если принципы, положенные в основу настоящей работы, найдут отклик в профессиональном сообществе, аналогичная работа может быть проведена по данным всех метеостанций России и Республики Беларусь с составлением полных карт средних значений $\overline{s}$ и коэффициентов вариации V для территории Союзного государства, посредством которых возможно определение для любой стройплощадки значений ВСП с любой наперёд заданной надёжностью.

Список литературы

1. Строительные нормы и правила. Часть II. Нормы строительного проектирования. – М. : Госстройиздат, 1954. – 405 с.

2. Лебедева И.В., Петрова Т.А. Анализ современных подходов к оценке надёжности в строительстве // Вестник НИЦ «Строительство». – 2023. – Т. 38. – № 3. – С. 20–36. – DOI: 10.37538/2224-9494-2023-3(38)-20-36.

3. Ржаницын А.Р. Теория расчёта строительных конструкций на надёжность. – М. : Стройиздат, 1978. – 239 с.

4. Райзер В.Д. Методы теории надёжности в задачах нормирования расчётных параметров строительных конструкций. – М. : Стройиздат, 1986. – 192 с.

5. Райзер В.Д. Расчёт и нормирование надёжности строительных конструкций. – М. : Стройиздат, 1995. – 347 с.

6. Назаров Ю.П., Лебедева И.В., Попов Н.А. Региональное нормирование снеговых нагрузок в России // Строительная механика и расчёт сооружений. –2006. – № 3. – С. 71–77.

7. Территориальные строительные нормы Краснодарского края СНКК 20-303-2002 «Нагрузки и воздействия. Ветровая и снеговая нагрузки» (ТСН 20-302-2002 Краснодарского края), Краснодар, 2003.

8. Scientific support activity in the field of structural stability of civil engineering works: Snow loads. – Book by L. Sanpaolesi (editor) 1998. Commission of the European Communities DGIII – D3. Contract n°500269 dated December 16th 1996, Final Report. University of Pisa, Department of Structural Engineering, March 1998. – 57 p.

9. Аксенов А.Г., Починок В.П. Экстремальный вес снегового покрова в Краснодарском крае и Республике Адыгея // Научные труды КубГТУ. – 2025. –№ 5. – С. 1–31. – DOI: 10.26297/2312-9409.2025.5.1.

10. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений = Statistics of extremes. – М. : Мир, 1965. – 450 с.

11. Строительные Нормы Республики Беларусь СН 2.01.04-2019 «Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Снеговые нагрузки» (на основе EN 1991-1-3:2003+AC:2009). – Минск, 2020.

12. Аксенов А.Г., Починок В.П. Вероятностное нормирование веса снегового покрова для равнинных районов Краснодарского края и Республики Адыгея // Научные труды КубГТУ. – 2026. –№ 1. – С. 1–30. – DOI: 10.26297/2312-9409.2025.1.1.

УДК 69.07

ПРИМЕНЕНИЕ ФИБРОБЕТОНА, ПРОПИТАННОГО СУСПЕНЗИЕЙ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПРОТИВ ПРОДАВЛИВАНИЯ

Альзурфи Мохаммед Кадхим Аллави[1], Хорошев Алексей Алексеевич[2], Леонова Анна Николаевна[3]

Кубанский государственный технологический университет,

[1]аспирант, alzurfimohammed@gmail.com,

[2]кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций, russ61@bk.ru,

[3]кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительных конструкций, lan_kubstu@mail.ru

****

Аннотация. Современный строительный материал – фибробетон, пропитанный суспензией (slurry infiltrated fibre concrete – SIFCON), обладает не только высокой прочностью на сжатие и растяжение, но и гибкостью и пластичностью. Эти свойства позволяют использовать его в узлах строительных конструкций, воспринимающих динамические, ударные, взрывные нагрузки, трение, а также в зоне продавливания железобетонных плит колоннами. В работе описаны экспериментальные исследования механических свойств образцов из обычного бетона и SIFCON. Сравнение результатов испытаний показало превосходство прочностных показателей SIFCON над обычным бетоном в 2–4 раза.

Ключевые слова: фибробетон, пропитанный суспензией, стальные волокна, цементный раствор, гибкость, пластичность, энергопоглощение, водо-цементное отношение, суперпластификатор, прочность на сжатие, прочность на изгиб, прочность на раскалывание.

Развитие современного гражданского строительства вызывает настоятельную потребность в разработке более эффективных строительных материалов, обладающих высокой

прочностью, вязкостью, энергопоглощением и долговечностью. Фибробетон, содержащий волокна в количестве 2–5 % (по объему), является одним из традиционных строительных материалов, используемых в различных конструкциях для повышения прочности и эксплуатационных характеристик конструкций при различных сочетаниях нагрузок [1].

Это также увеличивает скорость строительства и может даже устранить необходимость в обычном армировании. Бетон высокой или сверхвысокой прочности на сжатие остается в основном хрупким материалом. Наличие достаточного количества волокон повышает прочность на разрыв и обеспечивает пластичность [2–4].

SIFCON

В настоящее время **фибробетон, пропитанный суспензией** (slurry infiltrated fiber concrete – SIFCON) рассматривается как новая и особая категория бетона, созданная для повышения прочности уникального типа бетона, армированного волокнами [6].

Уникальный строительный материал, содержащий волокна от 5 до 20 % по объему [7], обладает высокой прочностью и пластичностью.

Ввиду высокой стоимости и трудоемкости SIFCON, этот материал целесообразно применять в виде ограниченных по размерам пластин или слоев [7] в конструкциях различного назначения:

– узлы сейсмостойких зданий и сооружений, деформационные швы для повышения деформативности и потерь энергии колебаний;

– узлы сопряжения «колонна-плита» в зоне пирамиды продавливания, где необходимо увеличить прочность железобетона на растяжение и срез, а также его гибкость и пластичность [8, 9];

– конструкции, подверженные ударной и взрывной нагрузке [10];

– поверхности трения и др.

При возникновении случайных или аномальных нагрузок во время эксплуатации SIFCON также демонстрирует новое поведенческое явление – «фиксацию волокон», которое, как считается, отвечает за его выдающиеся свойства при напряжении и деформации.

В настоящей работе приведены методика и результаты экспериментальных исследований механических свойств материала

SIFCON, проведенных автором в лаборатории университета г. Кербела (Ирак).

Структура

Структуру SIFCON рассматриваем как систему, состоящую из волокнистой сетки (каркаса) и затвердевшего цементно-песчаного раствора (матрицы).

Матрица, в отличие обычного бетона, не содержит крупных заполнителей, но обладает высоким содержанием цемента. Она может содержать мелкий и (или) крупнозернистый песок и такие добавки, как летучая зола, микрокремнезем (маршалит) и латексные эмульсии. Плотность матрицы должна быть рассчитана таким образом, чтобы она должным образом проникала в волокнистую сетку, помещенную в формы, поскольку в противном случае могут образоваться большие поры, что приведет к существенному ухудшению свойств. Для улучшения текучести SIFCON можно использовать контролируемое количество высококачественных водорастворимых добавок (суперпластификаторов) [11], например, лигносульфонат натрия, сульфированный нафталинформальдегид, поликарбоксилатный суперпластификатор. Можно использовать все типы стальных волокон, а именно прямые, крючковатые и гофрированные. При деформации материала под нагрузкой стальные волокна подвергаются трению и механическому сцеплению в дополнение к соединению с матрицей. Матрица передает усилия между волокнами при сдвиге, а также действует как опора, удерживающая волокна в сцеплении.

Состав цементного раствора для SIFCON

Пропорции цемента и песка, используемые для приготовления экспериментальных образцов SIFCON, составляют 1:1, 1:1,5 или 1:2. Цементно-песчаный раствор сам по себе имеет несколько назначений (восприятие сжимающих и перерезывающих усилий, адгезия к волокнам и включение их в работу). Как правило, в смеси используется зола-унос или кремнезем в количестве 10–15 % от массы цемента. Водоцементное соотношение составляет от 0,3 до 0,4. Процентное содержание суперпластификаторов варьируется от 2 до 5 % от массы цемента [11]. Процентное содержание волокон по объему может составлять от 5 до 20 %, хотя на практике оно находится в пределах от 5 до 12 %.

Процесс изготовления SIFCON

SIFCON отличается высоким содержанием стальных волокон. В то время как в похожем материале – фибробетоне, армированном стальным волокном, стальные волокна тщательно перемешиваются с влажной или сухой бетонной смесью перед заливкой в формы, SIFCON изготавливается путем послойной пропитки цементным раствором низкой вязкости слоев стальных волокон, предварительно уложенных в формы.

В нашем эксперименте применена методика последовательной укладки в опалубку чередующихся слоев цементного раствора низкой вязкости и стальных волокон [13]. Образцы были извлечены из опалубки через 24 часа и выдержаны в стандартных условиях 28 дней.

Экспериментальные исследования

В данном исследовании использовались два типа бетона: обычный бетон (NC) и SIFCON. Для SIFCON использовано стальное волокно в количестве 6 % от объема смеси. В ходе эксперимента для всех образцов использовался только один тип матрицы. В качестве вяжущего материала для обычного бетона и SIFCON использовался обычный портландцемент.

Мелкий заполнитель

Для получения обычного бетона использовался обычный песок, а для получения SIFCON – очень мелкий песок (молотый кварц). Содержание сульфатов SO_3 в песке составило 0,24 %. Обычный песок перед использованием в смеси был высушен от влаги.

Крупный заполнитель

В обычных бетонных смесях использовался дробленый гравий фракции 12,5 мм. Гравий был промыт водой для удаления пыли и загрязнений, взвешенных на поверхности, после чего высушен на воздухе. В результате испытания было установлено, что содержание сульфатов SO_3 в гравии составляет 0,07 %.

Суперпластификатор

Суперпластификатор на основе поликарбоксилатных полимеров использован для улучшения обрабатываемости и эксплуатационных характеристик бетона.

Суперпластификатор, известный как Hyperplastic 180 GS, использовался в каждом из компонентов (нормальный бетон и SIFCON), расход составляет от 0,8 до 1,0 л на 100 кг цемента.

Состав испытанных материалов приведен в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Обычный бетон

Цемент, кг	Песок, кг	Гравий, кг	В/Ц
573	687	840	217

Таблица 2 – SIFCON

Цемент, кг	Песок, кг	В/Ц	SF, %	Подвижность (по методу Mini slump)
885	885	0.28	6	251

Процедура испытаний

Были изготовлены 18 образцов, из которых 9 – из обычного бетона и 9 – из SIFCON содержанием волокон 6 % по объему, протестированы на прочность при сжатии, изгибе и раскалывании (рис. 1–3).



Рисунок 1 – Испытание SIFCON на сжатие



Рисунок 2 – Испытание SIFCON на изгиб



Рисунок 3 – Испытание SIFCON на раскалывание

Результаты всех проведенных испытаний приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты испытаний

	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на раскалывание, МПа	Прочность на изгиб, МПа
Обычный бетон	35.2	3.2	5.53
SIFCON	71.8	12.8	17.8

Выводы

По сравнению с обычным бетоном, фибробетон, пропитанный ссуспензией показал более высокие прочностные характеристики:

– прочность на сжатие выше в 2 раза;
– прочность на срез выше в 4 раза;
– прочность на изгиб выше в 3,2 раза.

Список литературы

1. Альзурфи М.К.А., Леонова А.Н., Хорошев А.А. Механические свойства фибробетона, пропитанного суспензией // Инженерный вестник Дона. – 2025. – № 2(122). – С. 527–535.

2. Фибробетон / Д.Н. Колодяжный, А.А. Колпаков, Н.С. Куликов [и др.] // Интернаука. – 2019. – № 40-1(122). – С. 12–13.

3. Ивлев В.А. Фибробетон в тонкостенных изделиях кольцевой конфигурации : дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. – Уфа, 2009. – 167 с.

4. Писаревский Д.А. Фибробетон и его перспективы // Аллея науки. – 2017. – № 13. – Т. 3. – С. 485–489.

5. Lankard D.R. Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SIFCON): Properties and Applications // Materials Research Society Symposium – Proceedings, 1984. – P. 277–286.

6. Esraa Kh. Abuzaida, Osman S.A., Azrul Bin Amutalib, Salah R. Al Zaidee. Slurry Infiltrated Fiber Concrete Properties: A Review // Jurnal Kejuruteraan. – 2024. – № 36(1). – P. 155–167.

7. Rakesh Kumar Chaudhary, Patel R.D. Study of behavior of SIFCON Produced by Partial Replacement of Cement with Glass Powder and Low Tensile Strength Steel fibre // IJSRD – International Journal for Scientific Research & Development. – 2015. – № 6. – Vol. 3. – P. 67–70.

8. Альзурфи М.К.А., Леонова А.Н., Хорошев А.А. Работа железобетонных плит при продавливании // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 3(111). – URL : ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9062

9. Альзурфи М.К.А., Леонова А.Н., Хорошев А.А. Армирование композитными материалами для защиты от продавливания узла «железобетонная плита – колонна» // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 4(112). – URL : ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2024/9115

10. Tauma W.K., Balázs G.L. Impact and Blast Resistance of Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SIFCON): A Comprehensive Review // Concrete Structures. – 2023. – Vol. 24. – P. 129–136.

11. Kuldeep Dagar Slurry infiltrated fibrous concrete (SIFCON) // International Journal of Applied Engineering and Technology. – 2012. – Vol. 2(2) April-June. – P. 99–100.

12. Shashi Kant Sharma, Aniruddha D. Chopadekar, Samarth Y. Bhatia. Performance of SIFCON with Steel Slag // Kalpa Publications in Civil Engineering. – 2017. – Vol. 1. – P. 198–208.

УДК 621.791

КОРРОЗИЯ СВАРНЫХ ШВОВ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЯХ

Бердник Анна Алексеевна

Кубанский государственный технологический университет,

студент, ann22852@mail.ru

****

Аннотация. Статья посвящена проблеме коррозии сварных швов в металлических конструкциях. Рассмотрены основные причины повышенной уязвимости сварных соединений, связанные с особенностями сварочного процесса: структурная и химическая неоднородность, наличие остаточных напряжений и дефектов. Описаны типы коррозионного разрушения, характерные для сварных швов, включая общую и местную коррозию. Представлен комплексный подход к защите сварных соединений, охватывающий технологические методы на этапе и способы после сварочной обработки поверхности.

Ключевые слова: коррозия, металлоконструкции, межкристаллическая коррозия, местная коррозия.

Коррозия сварных швов является одной из ключевых проблем для металлических конструкций, так как зона термического влияния часто разрушается быстрее, чем основной металл и из-за этого происходит преждевременный выход из строя сооружений, трубопроводов и оборудования. В данной статье мы предлагаем рассмотреть причины, типы и механизмы коррозии сварных швов, а также основные методы защиты от этого разрушительного процесса [1].

Стоит сразу отметить, что коррозия – это разрушение металла из-за химического эли электрохимического взаимодействия с окружающей средой. Подробно хотелось бы остановиться на причинах возникновения:

Структура: В зоне шва и около шовной зоне формируется структура, отличная от основного металла, а также присадочные

материалы могут иметь иной химический состав что в последствии может привести к возникновению коррозии.

Термическое воздействие: из-за высокой температуры при сварке выделяются карбиды по границам зерен в нержавеющих сталях, что снижает их коррозийную стойкость.

Наличие остаточных напряжений: сварка вызывает местный нагрев и последующее охлаждение, что приводит к появлению внутренних напряжений. Эти напряжения могут разрушить защитные оксидные пленки на поверхности металла и повышать его внутреннюю энергию, дела его более термодинамически устойчивым к коррозии.

Также одной из немаловажных причин возникновения коррозии являются дефекты при работе с сваркой (подрезы, непровары, поры). Образуются щели и карманы, где скапливается влага, что ускоряет локальную коррозию [2].

Таким образом, коррозия сварных швов и металлических конструкций представляет собой сложную проблему, возникающую из-за совокупности многих факторов. Что впоследствии приводит к ускорению старения сооружения, потери герметичности и снижению прочности шва.

Разрушение сварных швов может проявляться в различных формах, каждая из которых имеет свои особенности. По характеру распространения коррозию сварных соединений классифицируют на общую и местную. Наибольшую опасность для конструкции представляет местная коррозия, так как общая – может быть сосредоточена равномерно по всей поверхности или на самом шве, а местная – способно привести к внезапному и непрогнозируемому разрушению конструкции.

Немного подробнее поговорим про местную коррозию. Существует межкристаллическая коррозия (МКК), которая является одной из самых опасных. Проблема заключается в избирательном разрешении границ между зернами металла. Визуально тяжело определить проблемную точку, так как на первый взгляд конструкция может выглядеть неповреждённой, но фактически связь между зернами теряется, впоследствии чего металл разрушается даже от незначительной нагрузки. Стоить отметить, что наиболее подвержены подобному виду коррозии соединения из нержавеющих хро-

моникелевых сталей. Все это связано с тем, что при нагреве металла в интервале от 400–900 по границам зерен начинает выделяться карбиды хрома. Это приводит к обеднению приграничных областей хромом, который как раз и отвечает за коррозионную стойкость стали. Зона, потерявшая хром, становится анодом и интенсивно разрушается в агрессивной среде. Эта зона потери коррозионной стойкости называется сенсибилизированной [3].

Не стоит забывать и о таких видах коррозии как ножевая, точечная, щелевая и коррозийное растрескивание под напряжением. Ножевая возникает непосредственно в зоне сплавления (по границе шва с основанием металла); щелевая – возникает в нахлестных соединениях, куда затруднен доступ кислорода. Разница в аэрации внутри щели и на открытой поверхности создает коррозийный элемент, и металл в щели интенсивно растворяется; точечная коррозия- возникает в местах разрушения защитной пленки или в зонах скопления неметаллических включений; коррозийное растрескивание же происходит при одновременном воздействии коррозийной среды и растягивающих напряжений (рис. 1) [4].

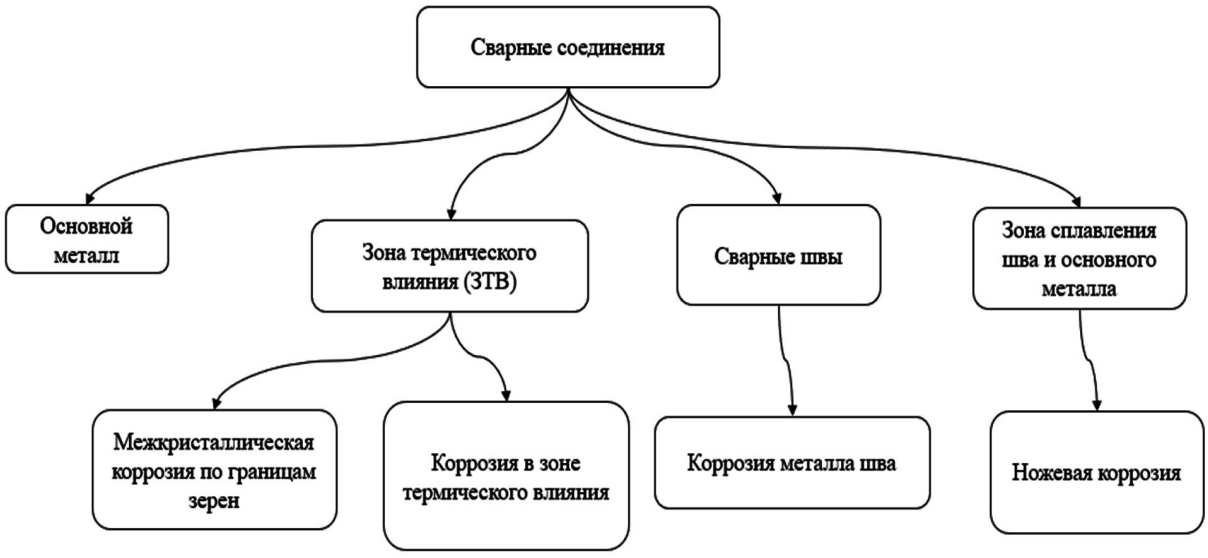


Рисунок 1 – Виды коррозии в сварных соединениях

Борьба с коррозией соединений ведется комплексно и начинается еще на этапе проектирования и выбора металла, продолжаясь в процессе сварки и финишной обработки. Крайне важно учитывать защитные мероприятия по отношению к металлу, так как от этого зависит срок долговечности конструкции и безопасность людей, эксплуатирующих ее [5].

Существуют несколько важных подходов для предотвращения появления коррозии: перед сваркой необходимо тщательно очистить кромки металла от любых загрязнений; используются присадочные материалы, которые по химическому составу и свойствам максимально близки к основному металлу или даже превосходя его по содержанию легирующих элементов; используются низкотемпературные методы с точно контролируемыми параметрами. Комплекс этих действий крайне важен для предотвращения возникновения коррозии [6, 7]

После сварочных работ и термической обработки применяется методы пассивной и активной защиты поверхности на схеме 2 представлен комплекс подходов к защите сварных сведений [8, 9]

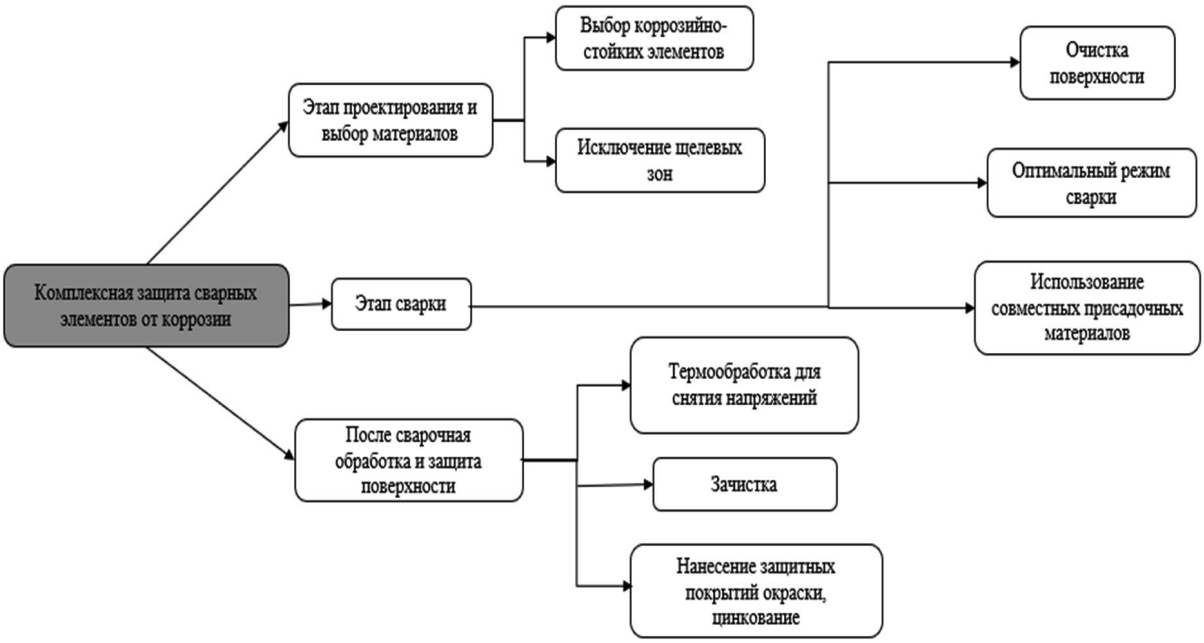


Рисунок 2 – Комплекс подходов к защите сварных сведений

Современные методы борьбы с этим явлением включают не только нанесение защитных покрытий, но и строгий контроль на всех этапах создания сварной конструкции. Коррозия сварных швов – сложный процесс, обусловленный комплексом факторов: от макроструктурных изменений в металле до остаточных напряжений и конструктивных особенностей здания. Понимание механизмов различных видов коррозии, таких как межкристаллическая или коррозийное растрескивание, позволяет прогнозировать поведение конструкции в эксплуатации и выбрать эффективные стратегии защиты.

Список литературы

1. Крохалев В.Г., Чебыкин А.А. Технология изготовления металлических конструкций. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2017. – 180 с. – ISBN 978-5-7996-2193-3. – EDN ZVQSAT.

2. Шатов А.П., Стеклов О.И., Ступников В.П. Сварка и ремонт металлических конструкций по противокоррозионным покрытиям. – 2-е издание. – М. : Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2014. – 152 с. – ISBN 978-5-7038-3875-4. – EDN UJTEYN.

3. Казаков М.С., Гришина А.С. Оценка эффективности метода гальванического цинкования для антикоррозионной защиты монтажных сварных швов строительных конструкций // Construction and Geotechnics. – 2022. – Т. 13. – № 3. – С. 63–71. – DOI: 10.15593/2224-9826/2022.3.06. – EDN SULLDO.

4. Леонова А.Н., Мягкова Е.С. Электрохимическая коррозия металлов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2021. – № 4. – С. 119–121.

5. Тимаков Е.А., Панов Ю.Т., Шутихин Е.Д. Использование медленных полимочевин для защиты металлических конструкций от коррозии // Актуальные проблемы науки о полимерах: Материалы IV Всероссийской научной конференции (с международным участием) преподавателей и студентов вузов, Казань, 23–26 сентября 2024 года. – Казан : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2024. – С. 545–546. – EDN YJXBPI.

6. Бажин Г.М. Современные методы прогнозирования и защиты металлических конструкций от коррозии // Экономика строительства. – 2025. – № 1. – С. 439–441. – EDN LGYJRY.

7. База данных учебного материала «Антикоррозионная защита и восстановление строительных конструкций» / Леонова А.Н., Гаврилов Г.В., Вороной А.А. / Свидетельство о регистрации базы данных RU 2019621231, 10.07.2019. Заявка № 2019621119 от 01.07.2019.

8. Коррозия и защита металлов. В 2 ч. Ч. 1. Методы исследований коррозионных процессов: учебно-методическое пособие /

Н.Г. Россина, Н.А. Попов, М.А. Жилякова [и др.]. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 108 с.

9. Леонова А.Н., Кайшева А.И., Лунёв А.М. Сравнительный анализ различных способов защиты металлических конструкций от коррозии // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 1. – С. 118–123.

УДК 69.058.2

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ИЗНОСА ФАСАДНЫХ СИСТЕМ И НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Буракова М.М.[1], Голодкова М.М.[2], Усанов С.В.[3]

[1,2,3]Кубанский государственный технологический университет,

[1,2]студенты гр. 22-С-УС1,

[1]mburakova2004@yandex.ru, [2]golodkovamaria@gmail.com,

[3]кандидат технических наук, доцент

****

Аннотация. Традиционные методы обследования зданий до сих пор полагаются на визуальный осмотр и точечные замеры приборами. Это отнимает большое количество времени и часто не вскрывает скрытые дефекты. В работе разбирается другой подход – оценка технического состояния фасадов и несущих конструкций через мультиспектральную съемку. Анализ того, как материалы отражают свет в разных диапазонах, позволяет находить участки увлажнения, биопоражения, коррозии и проблемы с теплозащитой на ранних стадиях.

В статье сравниваются данные дистанционного зондирования с результатами прямых обследований на объектах. На основе этого предложена классификация дефектов по их спектральным признакам. В итоге видно: мультиспектральные методы делают

оценку износа достовернее и открывают дорогу к регулярному мониторингу состояния построек.

Ключевые слова: мультиспектральная съемка, фасадные системы, несущие конструкции, износ, техническое состояние, спектральная сигнатура, тепловизионный контроль, дефекты, мониторинг зданий.

Эксплуатация зданий и сооружений сопровождается постепенным изменением свойств материалов и конструкций под воздействием внешних и внутренних факторов. Обеспечение безопасной эксплуатации требует регулярной оценки их технического состояния. Традиционная методика обследования, регламентированная ГОСТ Р 53778, включает визуальный осмотр и детальное инструментальное обследование [1]. Однако такие работы трудоемки, требуют привлечения квалифицированных специалистов и не всегда обеспечивают полноту данных о состоянии труднодоступных элементов. В условиях массового старения жилого фонда и дефицита кадров возникает потребность в автоматизации процессов диагностики [2].

Развитие методов дистанционного зондирования открывает новые возможности для строительного контроля. Мультиспектральная съемка, основанная на регистрации отраженного и собственного излучения объектов в нескольких диапазонах длин волн, позволяет получать информацию о материале, скрытую при визуальном осмотре [3]. Каждый строительный материал имеет характерную спектральную кривую отражения. Изменение состояния материала вследствие увлажнения, загрязнения, биопоражения или разрушения приводит к трансформации этой кривой [4]. Фиксация таких изменений дает основание для вывода о наличии дефекта и степени его развития.

Целью настоящей работы является обобщение опыта применения мультиспектральных методов для оценки износа фасадных систем и несущих элементов зданий, а также определение подходов к интерпретации получаемых данных.

Физической основой метода служит различная отражательная способность материалов в зависимости от длины волны падающего излучения. В мультиспектральных камерах и сканерах

используется набор узких спектральных каналов, перекрывающих видимый и ближний инфракрасный диапазон. Для съемки наземных объектов могут применяться как стационарные камеры, так и беспилотные летательные аппараты, оснащенные соответствующим оборудованием [5].

Съемка в ближнем инфракрасном диапазоне эффективна для выявления зон увлажнения, так как вода имеет ярко выраженные полосы поглощения в этой области спектра. Тепловизионная съемка в длинноволновом инфракрасном диапазоне позволяет фиксировать температурные аномалии на поверхности фасадов, указывающие на дефекты теплозащиты, участки промерзания или наличие скрытых воздушных потоков [6].

Обработка мультиспектральных данных включает несколько этапов. Первоначально выполняется предварительная обработка: радиометрическая и атмосферная коррекция для приведения значений яркости к единым условиям. Затем производится расчет различных индексов. Классификация материалов и дефектов может выполняться методом спектрального угла, который сравнивает спектр каждого пикселя изображения с эталонными спектрами из библиотеки. Для идентификации строительных материалов в городской застройке целесообразно использование библиотек спектральных сигнатур, сформированных на основе лабораторных или натурных измерений [3].

Выявление дефектов фасадных систем. Фасадные системы зданий подвержены комплексу повреждающих воздействий: атмосферные осадки, перепады температур, ветровые нагрузки, биологические факторы. Традиционный визуальный осмотр позволяет зафиксировать лишь явные повреждения, такие как трещины или отслоения облицовки [5]. Скрытые процессы, например накопление влаги в толще утеплителя, остаются необнаруженными до момента проявления вторичных признаков.

Мультиспектральная съемка здесь незаменима – она строит карты повышенной влажности по снижению отражения в ближнем ИК. Сравнивая снимки, сделанные в разное время, видно, как конструкции мокнут и сохнут. Биопоражения вроде мхов, лишайников или плесени тоже имеют свой спектральный почерк, особенно в красной зоне и ближнем ИК [4]. Натурные опыты по-

казывают: если свести воедино данные лазерного сканирования и мультиспектральной съемки, распознавание материалов фасадов становится точнее [7].

В таблице 1 собраны обобщенные спектральные приметы некоторых фасадных дефектов – по данным из опубликованных работ [4, 7, 8].

Таблица 1 – Спектральные признаки дефектов фасадных систем

Тип дефекта	Диапазон длин волн	Характер изменения сигнала	Дополнительные признаки
Увлажнение материала	Ближний ИК (800–1100 нм)	Снижение отражения	Повышение теплоемкости на термограммах
Биопоражения	Красный + Ближний ИК	Повышение отражения в ближнем ИК, специфическая форма кривой	Наличие характерных текстур на снимках высокого разрешения
Загрязнение, пленки	Видимый диапазон	Изменение цвета, снижение яркости	Локальный характер, приуроченность к выступающим элементам
Высолы	Видимый + ближний ИК	Повышение яркости в широком диапазоне	Кристаллическая структура на макроснимках
Коррозия металла	Видимый + ближний ИК	Появление полос поглощения оксидов	Характерная текстура ржавчины

Оценка состояния несущих конструкций. Оценить состояние несущих конструкций сложнее, они часто упрятаны за отделкой или утеплителем. Но и в этом случае мультиспектральная съемка может быть результативна. Трещины в стенах, деформации, следы влаги возле опор – все это фиксируется [8]. Беспилотники позволяют забраться в труднодоступные места: карнизы, простенки, парапеты [5].

Особый интерес представляют зоны концентрации напряжений. Их определяют по косвенным признакам: температура поверхности меняется при циклических нагрузках, влага по-особому распределяется в микротрещинах. Для железобетона информативным может стать анализ защитного слоя бетона и поиск ранней коррозии арматуры [9].

Если свести мультиспектральные данные с поверочными расчетами и натурными тестами, прогноз остаточного ресурса становится более точным. При накоплении спектральных образов дефектов и состояний, можно будет автоматизировать диагностику с помощью машинного обучения [10].

Практические аспекты применения метода. Чтобы внедрить мультиспектральную диагностику в реальные обследования, нужно решить множество организационных и методических вопросов. Нужна нормативная база, включающая информацию о том, как проводить съемки, какое оборудование брать, как обрабатывать данные.

Калибровка оборудования и учет условий съемки, таких как освещенность, влажность, ракурс имеет важную роль. Известно, что радиометрическая калибровка данных поднимает точность классификации материалов больше, чем на 20 % [4].

Если привязать спектральные характеристики к конкретным элементам цифровой модели, можно эффективно организовать мониторинг технического состояния, отслеживая динамику каждого узла [2].

В таблице 2 сведены примерные технические требования к съемке под разные диагностические задачи – на основе обзора литературы [4, 7, 9].

Таблица 2 – Рекомендуемые параметры съемки

Задача диагностики	Пространственное разрешение	Спектральные диапазоны	Периодичность
Нахождение участков увлажнения	5–10 см/пиксель	Ближний ИК	Ежеквартально
Выявление биопоражений	1–5 см/пиксель	Видимый + ближний ИК	Ежегодно
Контроль состояния теплозащиты	10–20 см/пиксель	Тепловой ИК	Отопительный период
Мониторинг трещин	менее 1 см/пиксель	Панхроматический	По необходимости
Идентификация материалов	5–15 см/пиксель	Мультиспектральный (6–8 каналов)	Однократно

Мультиспектральные изображения в оценке технического состояния фасадов и несущих конструкций – перспективный метод в сфере строительного контроля. Технология расширяет объем данных о материалах, выявляет дефекты на ранних стадиях и позволяет производить мониторинг здания регулярно. Лучше всего она работает в связке с классическими обследованиями и расчетами надежности.

Таким образом, в статье описан опыт применения мультиспектральных методов для оценки износа фасадных систем и несущих элементов зданий. Также, проведен анализ подходов к интерпретации получаемых данных.

Список литературы

1. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М. : Стандартинформ, 2010. – 60 с.

2. Воробьев В.С., Запащикова Н.П., Синицына А.С. Методические подходы к управлению техническим состоянием многослойных ограждающих конструкций зданий // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 6(83). – С. 73–80.

3. Nazyrova D., Aitkozha Z. Application of multispectral images to search for construction objects on the spectral signatures base // Scientific Journal of Astana IT University. – 2022. – Vol. 10. – P. 21–30.

4. Del Pozo S., Herrero-Pascual J., Felipe-García B. Multispectral radiometric analysis of façades to detect pathologies from active and passive remote sensing // Remote Sensing. – 2016. – Vol. 8. – No. 1. – Article 80.

5. Федерация судебных экспертов. Строительная экспертиза фасадов: диагностика и профилактика проблем [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://sud-expertiza.ru/stroitelnaya-ekspertiza-fasadov/ (дата обращения: 17.02.2026).

6. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М. : Стандартинформ, 2012. – 55 с.

7. Zahiri Z., Laefer D.F., Gowen A. Characterizing building materials using multispectral imagery and LiDAR intensity data // Journal of Building Engineering. – 2021. – Vol. 44. – Article 102603.

8. Świerczyńska E., Karsznia K., Książek K. Investigating diverse photogrammetric techniques in the hazard assessment of historical sites // Reports on Geodesy and Geoinformatics. – 2024. – Vol. 118. – No. 1. – P. 1–10.

9. Kargin M., Lukpanov R., Serenkov A. An innovative structural health assessment tool for existing precast concrete buildings using deep learning methods and thermal infrared satellite imagery // Journal of Civil Structural Health Monitoring. – 2022. – Vol. 12. – No. 2-3. – P. 561–578.

10. Кашеварова Г.Г., Крылов С.А. Разработка программы для автоматической оценки технического состояния наружных стен кирпичных зданий на основе методов машинного обучения // Вестник Дагестанского государственного технического университета. – 2025. – Т. 52. – № 1. – С. 120–129.

УДК 69.07+624.07

ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ГОФРИРОВАННЫХ ИЛИ ПЕРФОРИРОВАННЫХ БАЛОК

Верба Илья Витальевич

Кубанский государственный технологический университет,

Ilya.verba1995@gmail.com

****

Аннотация. Проведен сравнительный анализ гофрированных и перфорированных металлических балок с точки зрения прочности, жёсткости, массы, технологичности и стоимости. Установлено, что использование таких балок позволяет снизить массу конструкций на 15–30 % по сравнению со сплошными аналогами, при этом стоимость изготовления возрастает на 10–20 %. Гофрированные балки демонстрируют повышенную жёсткость и устойчивость к локальным деформациям, а перфорированные – упрощают монтаж и позволяют интегрировать инженерные коммуникации. Выбор типа балки должен основываться на характере

нагрузок и эксплуатационных требованиях: гофрированные балки предпочтительны при необходимости высокой жёсткости, перфорированные – при снижении массы и удобстве монтажа.

Ключевые слова: балки, гофрированные балки, перфорированные балки, металлические конструкции, прочность, жёсткость, строительство, рациональное проектирование.

Введение

Современное строительство развивается в условиях постоянного совершенствования технологий, материалов и инженерных решений. Одной из ключевых задач проектирования является разработка конструкций, позволяющих оптимизировать расход материала, снижать массу и трудозатраты, при этом обеспечивая высокие показатели прочности, надёжности и долговечности. В этой связи интерес представляют гофрированные и перфорированные балки, которые находят применение в современных металлических каркасных конструкциях.

Гофрированные балки характеризуются повышенной жёсткостью и устойчивостью к локальным деформациям при сравнительно малой толщине стенки, а перфорированные балки позволяют уменьшить массу конструкции и создают возможность интеграции инженерных коммуникаций. Эти особенности делают изучение их технических и эксплуатационных характеристик актуальным для проектировщиков и инженеров.

Однако наличие гофров или отверстий приводит к перераспределению напряжений и формированию локальных зон концентрации, что требует внимательного расчёта и выбора сечений. Кроме того, особенности производства и контроля качества таких балок могут увеличивать трудоёмкость и стоимость изготовления.

Актуальность исследования определяется необходимостью систематического анализа конструктивных особенностей, технико-экономических и эксплуатационных характеристик гофрированных и перфорированных балок. Это позволит определить условия их рационального применения в строительной практике.

Цель работы – провести сравнительный анализ гофрированных и перфорированных балок с точки зрения конструктивных особенностей, технико-экономических показателей и воз-

можностей рационального использования в современных строительных конструкциях.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1) изучить конструктивные особенности гофрированных и перфорированных балок;

2) оценить их основные технико-экономические показатели на основе расчётных моделей и существующих данных;

3) выявить потенциальные преимущества и ограничения каждого типа балок;

4) определить направления рационального применения в зависимости от условий эксплуатации и требований к конструкции.

Научная новизна работы заключается в систематизации и сравнительном анализе характеристик гофрированных и перфорированных балок с позиции комплексной оценки их эффективности, с акцентом на методические подходы расчёта и выбора конструкций для практического применения.

1. Достоинства гофрированных и перфорированных балок

Современное проектирование металлических конструкций ориентировано на снижение массы элементов при сохранении необходимой прочности и жёсткости. В этой связи гофрированные и перфорированные балки представляют интерес как решения, позволяющие оптимизировать конструкцию без существенных потерь несущей способности.

Гофрированные балки характеризуются волнистым профилем стенки, формируемым методом холодной гибки или штамповки. Такая геометрия повышает пространственную жёсткость и устойчивость к локальным деформациям, снижает потребность в продольных рёбрах жёсткости и способствует более равномерному распределению напряжений по высоте стенки. В ряде исследований указывается, что использование гофрированных балок может позволить снизить массу конструкции при сохранении прочности на 15–20 % по сравнению со сплошными балками аналогичных размеров [1, 2]. При правильной защите от коррозии срок службы таких элементов превышает 50 лет, что делает их технологически и эксплуатационно выгодными.

Перфорированные балки имеют равномерно расположенные отверстия в стенке, что облегчает конструкцию без значительной

потери несущей способности. При соблюдении оптимальных параметров отверстий (форма, диаметр, шаг) снижение прочности обычно не превышает 5–10 % [3]. Основным преимуществом таких балок является возможность прокладки инженерных коммуникаций через отверстия, что упрощает монтаж и сокращает потребность в дополнительных конструкциях. Кроме того, меньшая масса облегчает транспортировку и установку, снижая трудозатраты.

Обе конструкции обладают дополнительными преимуществами:

1) снижение расхода металла;

2 повышение жёсткости при изгибе (гофрированные балки);

3) равномерное распределение напряжений по стенке (гофрированные балки);

4) возможность интеграции инженерных систем (перфорированные балки);

5) потенциальное использование в архитектурных решениях для открытых пространств.

Таким образом, гофрированные и перфорированные балки могут рассматриваться как эффективные решения для конструкций, где критично сочетание лёгкости, прочности и функциональности.

2. Материалы и методы

Объектом исследования являются металлические балки двух типов: гофрированные и перфорированные, применяемые в современных каркасных конструкциях зданий и сооружений. Исследование охватывает балки различной длины, высоты и толщины стенки, выполненные из стандартных марок конструкционных сталей.

Гофрированные балки характеризуются волнистым профилем стенки, формируемым методом холодной гибки или штамповки. Такая конструктивная особенность обеспечивает повышение пространственной жёсткости элемента, равномерное распределение напряжений по высоте стенки и снижение потребности в продольных рёбрах жёсткости. Перфорированные балки содержат равномерно расположенные отверстия различных форм (круглые, шестиугольные) и диаметра, что облегчает конструкцию и позволяет интегрировать инженерные коммуникации без

существенного снижения несущей способности при соблюдении оптимальных параметров отверстий.

Для количественной оценки прочностных и эксплуатационных характеристик балок использовался метод конечных элементов (МКЭ). Данный подход позволяет учесть сложную геометрию гофров и отверстий, локальные концентрации напряжений и влияние динамических нагрузок на поведение конструкции.

Расчётные модели строились с использованием современных программных комплексов:

– SCAD Office – для анализа статических и временных нагрузок;

– LIRA-SAPR – для моделирования прогибов и распределения усилий в пространственных конструкциях;

– ANSYS – для детальной оценки напряженно-деформированного состояния, включая локальные концентрации напряжений вокруг отверстий и гофров, а также анализ усталостной долговечности.

Модели учитывали:

– геометрические параметры балки (длина, высота, толщина стенки);

– форму и шаг гофров для гофрированных балок;

– диаметр, форму и шаг отверстий для перфорированных балок;

– характер и распределение нагрузок (статические, временные, циклические и динамические).

Эффективность балок оценивалась по следующим показателям:

– несущая способность – максимальная нагрузка до возникновения локальных разрушений;

– жёсткость при изгибе – отношение изгибающего момента к прогибу;

– масса конструкции – с учётом толщины стенки, площади металла и влияния отверстий и гофров;

– экономическая эффективность – потенциальная экономия металла, трудозатраты на изготовление и монтаж;

– усталостная долговечность – оценка влияния циклических нагрузок на эксплуатационный ресурс.

При моделировании учитывались ограничения, связанные с конструктивными особенностями балок и условиями эксплуатации:

– локальные концентрации напряжений в местах гофров и отверстий;

– точность геометрии и качество изготовления, включая контроль за шагом, глубиной и профилем гофров;

– влияние сварных соединений и остаточных напряжений на прочность и долговечность;

– чувствительность к динамическим и вибрационным нагрузкам, особенно при больших пролетах;

– условия эксплуатации (влажность, агрессивная среда, требования к огнестойкости).

Методика исследования основана на комплексном сравнительном анализе гофрированных и перфорированных балок с использованием численного моделирования и теоретических расчётов. Она позволяет:

– оценить влияние конструктивных особенностей на распределение напряжений и прогибы;

– выявить потенциальные ограничения применения балок в зависимости от нагрузки и условий эксплуатации;

– определить экономическую целесообразность применения, включая снижение массы и трудозатрат при монтаже;

– сформулировать рекомендации по рациональному использованию балок в строительной практике.

Применяемый подход обеспечивает научно обоснованную оценку конструктивных, эксплуатационных и экономических характеристик гофрированных и перфорированных балок и создаёт основу для последующего количественного анализа их преимуществ и ограничений.

3. Результаты и обсуждение

В ходе исследования были проведены численные расчёты гофрированных и перфорированных балок различного типоразмера с использованием метода конечных элементов (МКЭ) в программных комплексах SCAD Office, LIRA-SAPR и ANSYS. Основными характеристиками для анализа служили несущая способность, жёсткость при изгибе, масса конструкции и распределение напряжений [4].

Расчётные данные показали, что гофрированные балки позволяют снизить массу конструкции в среднем на 15–20 % по сравнению со сплошными балками аналогичных размеров, тогда как перфорированные балки обеспечивают уменьшение массы на 20–30 % при условии оптимального диаметра и шага отверстий. При этом анализ трудозатрат и стоимости изготовления показал, что гофрированные балки требуют дополнительных операций по штамповке и сварке, увеличивая стоимость на 10–15 %, а перфорированные – на 12–18 %, что обусловлено точностью вырезки и контролем качества отверстий.

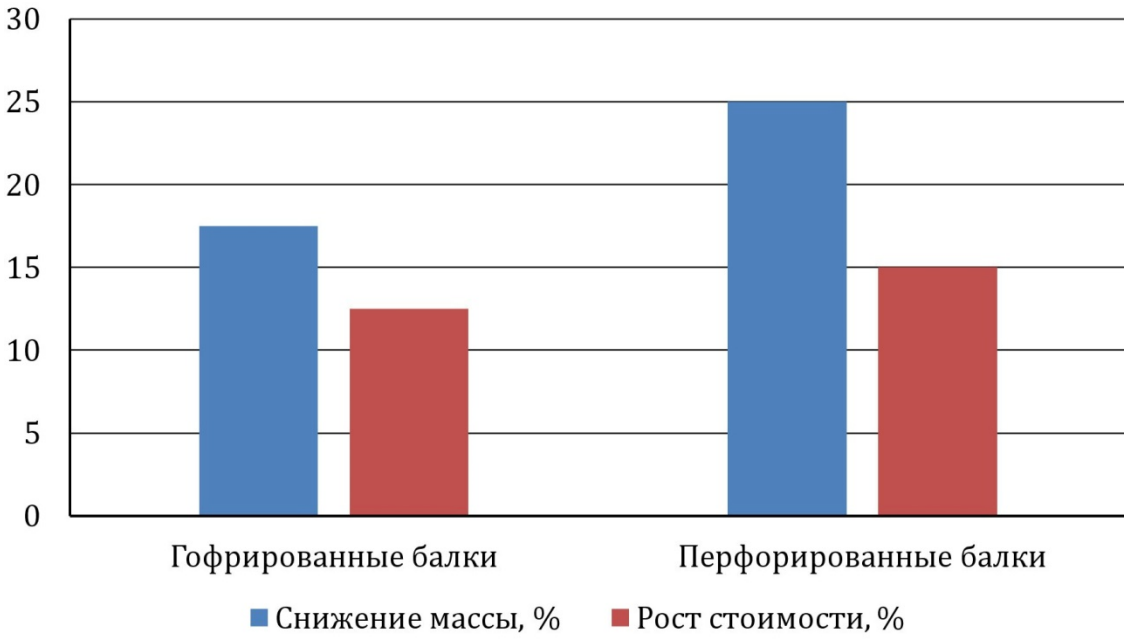


Рисунок 1 – Сравнительная оценка снижения массы и увеличения стоимости гофрированных и перфорированных балок

Моделирование выявило следующие закономерности: [5].

- Гофрированные балки демонстрируют повышенную пространственную жёсткость и равномерное распределение напряжений по стенке, что снижает вероятность локальных деформаций. Максимальные напряжения наблюдаются в местах перехода гофров, но их величина не превышает 1,5–1,7-кратного среднего значения по высоте стенки. Это позволяет отказаться от дополнительных продольных рёбер жёсткости и снизить расход металла без потери несущей способности.
- Перфорированные балки обеспечивают снижение массы за счёт отверстий, однако вблизи них формируются локальные

концентрации напряжений, повышенные до 1,8–2,0-кратного среднего значения. При правильно подобранных диаметре и шаге отверстий снижение несущей способности не превышает 5–10 %, что компенсируется функциональными преимуществами, такими как возможность прокладки инженерных коммуникаций.

Для оценки воздействия циклических и динамических нагрузок была проведена симуляция усталостного поведения балок при повторяющихся нагрузках, соответствующих эксплуатационным условиям промышленных и общественных зданий. Результаты показали, что:

- В перфорированных балках амплитуда колебаний напряжений вблизи отверстий может превышать средние значения на 35–40 %, что приводит к снижению усталостной долговечности на 10–15 % по сравнению с аналогичными сплошными элементами.
- Гофрированные балки проявляют более высокую устойчивость к динамическим воздействиям, однако волнистый профиль стенки увеличивает её гибкость, что при совпадении частот нагрузок может вызвать локальные резонансные колебания. Для предотвращения подобных явлений требуется дополнительное усиление поясов или увеличение толщины стенки.

Сопоставление результатов позволяет сделать следующие выводы о целесообразности применения каждого типа балки:

Таблица 1 – Сравнительная характеристика гофрированных и перфорированных балок по основным эксплуатационным и технико-экономическим показателям»

Параметр	Гофрированные балки	Перфорированные балки
Масса	–15–20 %	–20–30 %
Жёсткость	Высокая, равномерное распределение напряжений	Средняя, локальные концентрации у отверстий
Несущая способность	Сохраняется без потери	Снижение на 5–10 % при оптимальном отверстии
Монтаж и интеграция коммуникаций	Ограничена	Упрощена
Усталостная долговечность	Высокая при статических нагрузках	Снижение на 10–15 % при циклических нагрузках
Стоимость изготовления	+10–15 %	+12–18 %

Результаты показывают, что выбор типа балки должен быть основан на комплексной оценке условий эксплуатации:

- Гофрированные балки целесообразны при приоритете жёсткости и прочности, особенно для пролётов средней длины и статических нагрузок.
- Перфорированные балки рекомендуются там, где важны снижение массы, упрощение монтажа и интеграция инженерных систем, но с учётом необходимости контроля усталостной долговечности и локальных напряжений.

Таким образом, численные расчёты подтверждают, что обе конструкции обладают преимуществами в конкретных эксплуатационных условиях, но требуют точного проектирования, соблюдения технологических норм и контроля качества изготовления. Результаты исследования могут служить основой для разработки рекомендаций по рациональному использованию гофрированных и перфорированных балок в современных строительных объектах.

Заключение

В рамках проведённого исследования были систематически проанализированы конструктивные особенности, эксплуатационные характеристики и экономическая эффективность гофрированных и перфорированных балок. Численный сравнительный анализ с использованием метода конечных элементов (МКЭ) показал, что данные конструкции позволяют рационально использовать материал, снижать массу металлических элементов и повышать функциональность строительных систем.

Гофрированные балки демонстрируют высокую жёсткость и устойчивость к локальным деформациям благодаря волнистому профилю стенки. Моделирование показало, что распределение напряжений по высоте стенки становится более равномерным, что снижает вероятность возникновения локальных потерь формы. Эти балки целесообразны для перекрытий, мостовых пролётов и промышленных конструкций, где критичны прочность, долговечность и экономия металла. Волнистый профиль также позволяет отказаться от продольных рёбер жёсткости, упрощая конструкцию и снижая трудоёмкость монтажа.

Перфорированные балки обладают высокой технологичностью и функциональностью. Отверстия облегчают прокладку инженерных коммуникаций, экономят пространство и позволяют интегрировать архитектурные решения в проект. Расчёты показали, что при оптимальном диаметре и шаге отверстий снижение несущей способности не превышает 5–10 %, а масса конструкции может быть уменьшена на 20–30 %. Их использование особенно эффективно в общественных и коммерческих зданиях, где важны гибкость проектных решений и эстетическая выразительность внутренних пространств.

Обе конструкции имеют ограничения: гофрированные балки требуют строгого контроля геометрии и качества изготовления, а перфорированные – чувствительны к локальным концентрациям напряжений вблизи отверстий. Стоимость производства этих балок выше на 10–20 % по сравнению со сплошными аналогами, что следует учитывать при экономическом обосновании проекта.

Результаты исследования подтвердили, что при корректном инженерном подходе применение гофрированных и перфорированных балок обеспечивает:

– снижение массы металлических конструкций и расхода металла;

– сохранение или повышение несущей способности и жёсткости;

– возможность интеграции инженерных коммуникаций и архитектурных решений;

– улучшение эксплуатационной долговечности и технологичности монтажа.

Таким образом, гофрированные и перфорированные балки представляют собой перспективное направление развития современных металлических конструкций, обеспечивая баланс между прочностью, лёгкостью, функциональностью и эстетикой. Их внедрение способствует комплексной оптимизации конструкций и повышению эффективности строительных проектов, что делает их рациональным решением для современных архитектурно-инженерных задач.

Список литературы

1. Заборова Д.Д., Дунаевская Ю.П. Преимущества и особенности применения гофро-балки в строительстве // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 7(22). – С. 37–42. – URL : https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2014/7%2822%29/3_zaborova_22.pdf (дата обращения: 06.11.2025). – DOI: 10.21123/unistroy.2014.7.37.

2. Куркчи О.О. Обзор исследований работы металлических балок с гофрированными стенками // Вестник университета. – 2022. – URL : https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-issledovaniy-raboty-metallicheskih-balok-s-gofrirovannymi-stenkami (дата обращения: 07.11.2025). – DOI: 10.34670/vestnik.2022.45.12.

3. Конструкции прогонов покрытия в виде балок с перфорированной стенкой / И.В. Роменский, А.Н. Миронов, Н.А. Тарасенко [и др.] // Металлические конструкции = Metal Constructions. – 2020. – Т. 26. – № 2. – С. 77–85. – URL : https://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/20202/03_romenskii_mironov_tarasenko_mescherin_gladkikh.pdf (дата обращения: 08.11.2025). – DOI: 10.34031/metalcon.2020.26.2.77.

4. Святошенко А.Е. Балки с перфорированной стенкой в большепролётных покрытиях зданий // Вестник НИЦ «Строительство». – 2021. – № 1(28). – С. 85–91. – URL : https://vestnik.cstroy.ru/jour/article/download/122/122 (дата обращения: 08.11.2025). – DOI: 10.37538/cstroy.2021.28.1.85.

5. Штельвак В.А., Леонова А.Н. Использование балок с перфорированной стенкой в аспекте экономии металла при производстве конструкций и снижении стоимости строительства // Технические науки. – 2024. – № 1. – С. 127–129. – URL : https://id-yug.com/images/id-yug/SET/2024/1/2024-1-127-129.pdf (дата обращения: 09.11.2025). – DOI: 10.59315/techscience.2024.1.127.

УДК 69.059

ПРИМЕНЕНИЕ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ И ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Ерохова Анастасия Вадимовна

Кубанский государственный технологический университет,

студентка, *onlymyswmc@mail.ru*

****

Аннотация. Рассмотрены методы наземного лазерного сканирования и информационного моделирования (BIM) при реконструкции объектов культурного наследия. Выявлены преимущества цифровых технологий перед традиционными обмерами, особенности формирования Heritage BIM на основе облака точек. Описаны этапы создания информационной модели, её интеграция с расчётными комплексами и календарно-сетевым планированием. Определены технические, нормативные и кадровые барьеры, а также условия эффективного применения HBIM в реконструкции исторической застройки.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, информационное моделирование, BIM, Heritage BIM (HBIM), реконструкция зданий, объекты культурного наследия

Реконструкция зданий, относящихся к объектам культурного наследия, сопряжена с высокой степенью неопределенности технического состояния, сложностью усиления конструкций и необходимостью точной привязки новых элементов к существующим, часто имеющим сложную геометрию и разные физические характеристики. Ошибки, допущенные на этапах обследования и проектирования, неизбежно приводят к снижению надежности конструктивных решений, удорожанию работ и рискам для сохранности самого объекта. Традиционные методы обследования не обеспечивают полноты данных, необходимой для расчетного обоснования проектных решений, особенно в условиях, где каждый

элемент уникален и требует индивидуального подхода. Существующая практика не располагает единым цифровым инструментом, который позволял бы совмещать геометрию объекта в его актуальном состоянии, расчетные схемы, построенные на данных о реальных свойствах материалов, и организационно-технологические модели, обеспечивающие рациональное планирование работ с учетом специфики объекта наследия.

В связи с этим возникает необходимость в разработке единой методики, которая соединит наземное лазерное сканирование и BIM. Она должна быть нацелена на решение конструктивных и технологических задач при реконструкции объектов культурного наследия, где традиционные методы работают хуже всего.

Особенности применения наземного лазерного сканирования

Наземное лазерное сканирование представляет собой высокотехнологичный метод бесконтактной съемки, который находит все более широкое применение в практике обследования зданий и сооружений при реконструкции, а также при оценке технического состояния объектов. Принцип действия сканеров основан на измерении расстояний до поверхности объекта с высокой частотой. В результате сканирования формируется облако точек – массив координат, характеризующийся высокой плотностью и полнотой покрытия, что обеспечивает детальное отображение геометрии объекта [1].

Сравнение наземного лазерного сканирования с традиционными методами обмеров выявляет его существенные преимущества. Тахеометрическая съёмка, основанная на последовательном измерении отдельных точек, занимает много времени и даёт лишь фрагментарную картину объекта. Зафиксировать сложные формы, архитектурный декор или неровную кладку тахеометром либо совсем нельзя, либо очень трудоёмко. Ручные обмеры с использованием рулеток, уровней и шаблонов несут в себе высокую долю субъективности, их точность и детализация напрямую зависят от квалификации исполнителя. В отличие от этих методов, наземное лазерное сканирование обеспечивает сплошное покрытие поверхности, фиксируя все геометрические особенности, включая локальные неровности, искривления, трещины и осадки.

Наличие полного облака точек позволяет в дальнейшем с высокой достоверностью выявлять отклонения конструкций от проектного положения, оценивать неравномерность деформаций и формировать точную цифровую модель существующего состояния [2].

Нормативной базой для проведения обследований служит СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений», который устанавливает общие требования к составу, методам и порядку выполнения работ. Вместе с тем современные методики все активнее включают лазерное сканирование в качестве основного инструмента сбора первичных геометрических данных, дополняя традиционные обмерные работы. Использование наземного лазерного сканирования позволяет не только повысить достоверность и детализацию исходной информации, но и создать основу для перехода к информационному моделированию (BIM), где цифровая модель объекта формируется непосредственно по результатам сканирования и служит базой для последующего проектирования, расчетного обоснования и управления эксплуатацией.

Таким образом, внедрение наземного лазерного сканирования в практику инженерного обследования соответствует современному уровню развития строительной науки и техники, обеспечивая решение задач, которые традиционными методами решаются с недостаточной точностью или трудоемкостью.

Особенности применения BIM при реконструкции

Информационное моделирование при реконструкции объектов культурного наследия выделяется в отдельное направление, получившее в международной практике обозначение **Heritage BIM (HBIM)** [3]. В отличие от BIM для нового строительства, где модель формируется по проектной документации и отражает будущее здание с высокой степенью определенности, HBIM строится на основе данных натурных обследований и фиксирует объект таким, каков он есть на момент реконструкции. Эта принципиальная разница определяет специфику подхода: модель исторического здания должна не только передавать геометрию с высокой точностью, но и накапливать информацию о дефектах, материалах, истории эксплуатации, результатах неразрушающего контроля.

Роль BIM в разработке конструктивных решений при реконструкции заключается прежде всего в создании параметрической модели, которая объединяет геометрию, полученную по данным наземного лазерного сканирования, с атрибутивной информацией. Каждый элемент модели наделяется не только точными размерами, но и параметрами, характеризующими его фактическое состояние: класс бетона, прочность кладки, наличие и характер дефектов. Такая модель становится основой для последующих расчетов. Геометрию несущих элементов из BIM загружают в расчётные комплексы (Лира-САПР, SCAD и другие). На основе расчёта проектируют усиление, а BIM позволяет заранее, в виртуальной среде, проработать сопряжение новых элементов со старыми, чтобы снизить риск повреждения подлинных конструкций [4].

Организация строительного производства при реконструкции исторических зданий требует особой точности и предсказуемости, что также может быть обеспечено с использованием BIM-технологий. Календарно-сетевое планирование, реализованное в формате 4D BIM, позволяет увязать трехмерную модель объекта с временными параметрами. Это дает возможность визуализировать последовательность разборки, демонтажа, усиления и возведения новых элементов, выявляя на этапе проектирования технологические конфликты и оптимизируя логистику. Особое значение это имеет при работе в стесненных условиях городской застройки, когда необходимо точно рассчитать сроки установки временных креплений, маршруты подачи материалов и последовательность включения в работу отдельных участков здания [5]. Контроль качества и стоимости обеспечивается на уровне 5D BIM, где модель интегрируется с данными об объемах работ и их стоимости. Это позволяет оперативно отслеживать фактическое выполнение по сравнению с планом, фиксировать отклонения и своевременно корректировать расход ресурсов. Для объектов культурного наследия, где любое непредвиденное вмешательство может привести к утрате подлинных элементов, такой уровень контроля становится не просто экономически целесообразным, а критически необходимым.

Нормативная база в области информационного моделирования в строительстве постепенно формируется и включает ключе-

вые документы, определяющие требования к цифровым моделям. СП 333.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла» устанавливает общие принципы и классификацию уровней детализации. ГОСТ Р 10.0.01–2019 «Информационное моделирование в строительстве. Основные понятия» вводит терминологическую базу и определяет основные понятия, используемые при создании информационных моделей. Для объектов капитального строительства, включая объекты реконструкции, действуют требования к составу и содержанию цифровой модели, которые регламентируют передачу данных между участниками процесса. Вместе с тем для объектов культурного наследия пока отсутствует специализированная нормативная база, что делает актуальным разработку методических рекомендаций, адаптирующих общие требования BIM к специфике HBIM.

Ограничения и перспективы

Применение наземного лазерного сканирования и информационного моделирования при реконструкции объектов культурного наследия, несмотря на очевидные преимущества, сталкивается с рядом проблем и ограничений, которые сдерживают широкое внедрение этих технологий в практику строительного производства. Эти ограничения можно разделить на три группы: технические, организационно-нормативные и кадровые.

К техническим проблемам относится прежде всего работа с большими объёмами данных лазерного сканирования. Большой размер файлов требует высокопроизводительного оборудования и значительных временных затрат.

Вторая проблема – недостаток библиотек параметрических элементов для исторических конструкций: своды, арки, кладка с нерегулярной геометрией, лепной декор отсутствуют в стандартных BIM-библиотеках, а их ручное создание трудоёмко.

Третья проблема – потеря атрибутивных данных (прочностные характеристики, слои, граничные условия) при передаче геометрии из BIM в расчётные комплексы (Лира-САПР, SCAD), что снижает эффективность процесса.

Организационно-нормативные ограничения носят системный характер. В настоящее время существует юридическая не-

определённость статуса цифровой модели: информационная модель не признаётся официальным документом для согласования с органами охраны культурного наследия. В результате проектировщики вынуждены дублировать работу – создавать цифровую модель для внутренних задач и параллельно формировать традиционный комплект чертежей для согласования, что удорожает и удлиняет процесс. Разрыв между этапами жизненного цикла также остаётся серьёзной проблемой. Обследование, проектирование и строительство часто выполняются разными подрядчиками, использующими разные программные средства и форматы данных. Передача информации от одного этапа к другому сопровождается потерями, необходимостью повторной обработки и, как следствие, снижением качества итогового результата.

Кадровые ограничения связаны с дефицитом квалифицированных специалистов в области наземного лазерного сканирования, информационного моделирования, расчётных комплексов и технологии реконструкции исторических зданий. На рынке недостаточно инженеров-геодезистов, владеющих наземным лазерным сканированием и постобработкой облаков точек, а также BIM-специалистов, способных строить модели по данным сканирования. Такая ситуация приводит к тому, что потенциал наземного лазерного сканирования и BIM реализуется не в полной мере, а их внедрение остаётся локальным, а не системным.

Для преодоления выявленных ограничений и развития практики применения цифровых технологий при реконструкции объектов культурного наследия необходим комплекс мер, охватывающий нормативную базу, технологическое развитие и систему подготовки кадров.

Следует разработать и утвердить методические указания по созданию информационных моделей исторических зданий (HBIM), регламентирующие уровни детализации, способы фиксации дефектов, форматы передачи данных между этапами, а также порядок использования цифровых моделей при проведении поверочных расчётов и разработке проектов производства работ. Важным шагом станет юридическое признание информационной модели в качестве официального документа, что позволит исключить дублирование чертежей и ускорить процедуры согласования с органами охраны культурного наследия.

Образовательные аспекты требуют пересмотра содержания программ подготовки инженеров-строителей в части современных методов обследования и информационного моделирования. Введение в учебные планы курсов по наземному лазерному сканированию, работе с облаками точек, созданию информационных моделей исторических зданий, а также по интеграции BIM с расчётными комплексами позволит готовить специалистов, способных эффективно применять цифровые технологии на всех этапах реконструкции. Дополнительно целесообразно организовать систему повышения квалификации для действующих инженеров и проектировщиков, ориентированную на практическое освоение цифровых инструментов применительно к объектам культурного наследия. Только комплексное решение технических, организационных и кадровых проблем позволит перевести применение наземного лазерного сканирования и HBIM из разряда экспериментальных практик в повседневную норму проектно-строительной деятельности.

Таким образом, интеграция наземного лазерного сканирования и информационного моделирования в единый цикл реконструкции объектов культурного наследия позволяет создать достоверную цифровую основу для всех этапов жизненного цикла здания – от обследования до эксплуатации.

Список литературы

1. Кошан Е.К. Возможности, преимущества и недостатки наземного лазерного сканирования // Интерэкспо Гео-Сибирь: материалы международной научной конференции. – Новосибирск, 2017. – С. 27–30.

2. Рыболовлева А.В., Фёдоров В.С. Применение технологии наземного лазерного сканирования для создания обмерных чертежей фасадов зданий // Молодежь и наука: материалы XX международной научно-практической конференции старшеклассников, студентов и аспирантов (24 мая 2024 г., г. Нижний Тагил): в 2 т. – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2024. – Т. 1. – С. 159–161.

3. Леонова А.Н., Федотова Е.А., Акопьян К.А. Проектирование и реконструкция с применением фотограмметрии/Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 1. – С. 336–338.

4. Dore C., Murphy M. Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for recording and managing cultural heritage sites // 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia. – Milan, 2012. – P. 369–376.

5. Ермолин Н.И., Ермолина О.А., Оксенюк А.П. Использование технологии информационного моделирования зданий для объектов культурного наследия // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 4 (46). – С. 95–99.

6. Козлова Т.И., Талапов В.В. Опыт информационного моделирования памятников архитектуры // Архитектура и современные информационные технологии. – 2009. – № 3 (8). – С. 4.

7. Савин Н.С., Леонова А.Н. Обследование технического состояния общественного здания в г. Краснодаре // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2024. – № 1. – С. 108–111.

УДК 69.058.2

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ БЕТОНА (ТРЕЩИНЫ, СКОЛЫ, РАССЛОЕНИЯ) ПО ФОТОГРАФИЯМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CNN (СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ)

Козуб А.П.[1], Руденко С.В.[2], Усанов С.В.[3]

[1,2,3]Кубанский государственный технологический университет,

[1,2]студенты гр. 22-С-УС1,
[1]alexkozubrou@bk.ru, [2]stepan78ru@yandex.ru,

[3]кандидат технических наук, доцент

****

Аннотация. В данной статье рассматриваются актуальные вопросы автоматизации мониторинга технического состояния бетонных конструкций с применением технологий глубокого обучения. В связи с необходимостью повышения точности дефекто-

скопии, автор анализирует возможности сверточных нейронных сетей (CNN) в задачах детектирования и классификации трещин, сколов и расслоений по фотофиксации. Особое внимание при этом уделяется систематизации визуальных признаков повреждений и их дифференциации на фоне естественных шумов бетонной поверхности. Наряду с теоретическим обоснованием, в работе приводится сравнительный анализ нейросетевого подхода и традиционного визуального осмотра, что позволяет обосновать экономическую и техническую целесообразность внедрения систем компьютерного зрения. В конечном итоге делается вывод, что использование интеллектуальных алгоритмов является ключевым фактором цифровой трансформации строительного контроля, обеспечивающим объективность и оперативность оценки эксплуатационной надежности объектов.

Ключевые слова: дефектоскопия бетона, сверточные нейронные сети, компьютерное зрение, детектирование трещин, классификация дефектов, глубокое обучение, мониторинг зданий, строительный контроль, автоматизация обследований.

Обеспечение структурной целостности и долговечности строительных конструкций является приоритетной задачей современной инженерной науки. Бетон, будучи основным конструкционным материалом, в процессе эксплуатации подвергается деградации под воздействием климатических циклов, химической агрессии и механических перегрузок. Своевременное обнаружение дефектов, таких как трещины, сколы и расслоения, позволяет предотвратить аварийные ситуации и существенно снизить затраты на капитальный ремонт.

Традиционно мониторинг состояния поверхностей осуществляется посредством визуального осмотра квалифицированным персоналом. Однако данный подход сопряжен с рядом ограничений: высокой трудоемкостью, субъективностью оценок и сложностью доступа к высотным или удаленным элементам конструкций. В этой связи актуализируется переход к автоматизированным системам контроля, базирующимся на технологиях компьютерного зрения и глубокого обучения [1].

Развитие вычислительных мощностей позволило внедрить в строительную диагностику сверточные нейронные сети

(Convolutional Neural Networks, CNN), которые на сегодняшний день демонстрируют наилучшие результаты в задачах классификации и сегментации изображений. В отличие от классических методов цифровой обработки сигналов, требующих ручного проектирования фильтров для выделения признаков, CNN способны самостоятельно обучаться иерархическому представлению данных [2].

Тем не менее, внедрение подобных систем в реальную практику требует четкого понимания их преимуществ перед консервативными методами. Для более детального анализа целесообразности использования нейросетевых моделей в строительстве стоит обратиться к сравнительным характеристикам подходов. В таблице 1 систематизированы ключевые параметры, демонстрирующие качественный переход при использовании интеллектуальных систем.

Таблица 1 – Сравнительный анализ традиционного визуального осмотра и автоматизированного метода на основе CNN

Критерий сравнения	Традиционный визуальный осмотр	Метод на основе сверточных нейронных сетей (CNN)
Скорость обработки	Низкая (ограничена человеческим ресурсом)	Высокая (до нескольких сотен кадров в секунду)
Объективность	Субъективная оценка специалиста	Стабильные результаты на основе алгоритмов
Доступность объектов	Затруднена (требуются леса, вышки)	Высокая (использование БПЛА и робототехники)
Человеческий фактор	Высокий риск пропуска дефекта из-за усталости	Отсутствует (стабильное качество анализа)
Стоимость масштабирования	Линейно растет с увеличением площади	Снижается при автоматизации больших объектов
Необходимость разметки	Не требуется	Требуется на этапе обучения модели

Как следует из представленных данных, автоматизация на базе CNN позволяет не только кратно увеличить скорость мониторинга, но и исключить ошибки, вызванные потерей концентрации человека. Это особенно важно при обследовании протяженных объектов инфраструктуры, таких как мосты, тоннели и плотины ГЭС.

Переходя к вопросу непосредственного функционирования нейросетевых моделей, необходимо подчеркнуть, что эффектив-

ность распознавания напрямую зависит от качества и разнообразия обучающей выборки. Поверхность бетона характеризуется сложной текстурой, наличием теней, следов опалубки и переменной влажности, что создает существенный визуальный «шум».

Для того чтобы система корректно идентифицировала повреждения, требуется формализация признаков каждого типа дефекта [3]. В рамках разработки информационных моделей мониторинга принято выделять несколько критических категорий деградации материала. В таблице 2 представлена классификация наиболее распространенных дефектов бетона с описанием их визуальных характеристик, релевантных для машинного зрения.

Таблица 2 – Классификация и визуальные признаки дефектов бетона, детектируемых нейронными сетями

Тип дефекта	Визуальные характеристики для CNN	Степень опасности	Типичные причины возникновения
Трещины	Линейные структуры с резким перепадом яркости	Высокая	Усадка, перегрузки, коррозия арматуры
Сколы	Геометрические искажения краев и углов	Средняя	Механические удары, износ материала
Расслоения	Неоднородность текстуры, отслоение чешуек	Средняя	Нарушение технологии, морозное пучение
Раковины (поры)	Мелкие точечные углубления на поверхности	Низкая	Недостаточное вибрирование смеси
Высолы	Светлые пятна с низким контрастом границ	Низкая	Миграция солей под воздействием влаги
Трещины	Линейные структуры с резким перепадом яркости	Высокая	Усадка, перегрузки, коррозия арматуры

Данная классификация служит фундаментом для разметки данных. Важно заметить, что нейронная сеть при анализе изображения проходит через несколько этапов: от выделения простейших линий и границ на первых слоях до формирования комплексного представления о дефекте на глубоких уровнях архитектуры [4].

Рассматривая техническую реализацию, следует упомянуть, что для детектирования дефектов бетона чаще всего используются архитектуры типа ResNet, VGG или специализированные решения для детекции объектов, такие как YOLO (You Only Look Once) и Mask R-CNN. Применение принципа «свертки» позволяет сети сохранять пространственную информацию о расположении дефекта, что критически важно для оценки его размеров.

Особое внимание в современных исследованиях уделяется методу трансферного обучения (Transfer Learning). Суть данного подхода заключается в том, что модель, предварительно обученная на огромных массивах общих изображений, адаптируется под узкую задачу дефектоскопии бетона [5]. Это позволяет достигать высокой точности распознавания даже при ограниченном наборе фотографий с реальных строительных площадок. Плавный переход от общих признаков к специфическим особенностям бетонных поверхностей делает этот метод наиболее

Говоря о практическом применении, стоит отметить, что интеграция CNN в мобильные устройства и беспилотные летательные аппараты открывает возможности для проведения экспресс-анализа в режиме реального времени. Это существенно трансформирует регламенты технического обслуживания зданий. Вместо периодических осмотров появляется возможность создания «цифровых двойников» конструкций, где каждый выявленный дефект фиксируется в базе данных с точными координатами и параметрами [6].

Тем не менее, несмотря на очевидные успехи, перед исследователями стоит задача повышения устойчивости моделей к сложным условиям освещения и разработка универсальных датасетов, учитывающих различные марки и составы бетонных смесей. Дальнейшее развитие направления, вероятно, будет связано с интеграцией визуальных данных и данных неразрушающего контроля (например, ультразвукового сканирования).

Таким образом, можно сделать вывод, что использование сверточных нейронных сетей является наиболее эффективным ответом на вызовы современной строительной дефектоскопии. Предложенные методы классификации и анализа данных позволяют значительно повысить достоверность оценки состояния бетонных поверхностей. Автоматизация процесса детектирования трещин, сколов и расслоений не только минимизирует риски, связанные с человеческим фактором, но и создает технологическую базу для долгосрочного прогнозирования ресурса инженерных сооружений. Внедрение подобных интеллектуальных систем в отраслевые стандарты станет важным шагом на пути к цифровой трансформации строительной индустрии.

Список литературы

1. Алиев М. М., Галушкин А. И. Применение сверточных нейронных сетей для распознавания дефектов строительных конструкций // Инженерный вестник Дона. 2021. № 4. URL: https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6932.

2. Колмогоров А. Ю. Методы компьютерного зрения в задачах строительной дефектоскопии: учебное пособие. М.: Издательство АСВ, 2020. 120 с.

3. Васильев А. С., Семенов В. В. Автоматизация мониторинга состояния бетонных покрытий с использованием алгоритмов глубокого обучения // Вестник гражданских инженеров. 2022. Т. 19. № 2. С. 45–52.

4. Cha Y. J., Choi W., Buyukozturk O. Deep Learning-Based Crack Damage Detection Using Convolutional Neural Networks // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. 2017. Vol. 32. No. 5. P. 361–378.

5. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. E. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks // Communications of the ACM. 2017. Vol. 60. No. 6. P. 84–90.

6. Соловьев А. В. Глубокое обучение и нейронные сети в задачах технической эксплуатации зданий и сооружений: учебное пособие. СПб.: СПбГАСУ, 2021. 94 с.

УДК 504.05

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

Коник Анна Юрьевна[1], Прокопцова Наталия Сергеевна[2]

Кубанский государственный технологический университет,

[1]yurevna-nyuta@bk.ru, [2]студентка, natali240703@mail.ru

****

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные проблемы оценки и прогнозирования долговечности деревянных конструкций, эксплуатирующихся в условиях агрессивных сред: повышенная влажность, биологические поражения, химические воздей-

ствия, циклическое замораживание-оттаивание. Представлен комплексный подход к расчетной оценке, основанный на анализе ключевых факторов деградации древесины и их влияния на физико-механические характеристики. Рассмотрены основные механизмы старения: гидролитическое и ферментативное разрушение целлюлозы, деполимеризация лигнина, развитие грибковых и бактериальных поражений. Приводятся методологические принципы построения прогнозных моделей долговечности, включая ускоренные испытания, регрессионный анализ зависимости прочности от времени и дозы воздействия агрессивного фактора.

Ключевые слова: деревянные конструкции, долговечность, агрессивные среды, биоразрушение, влажность, прогнозирование, расчетная оценка, остаточный ресурс, защита древесины.

Задачи исследования:

1. Систематизировать основные виды агрессивных сред и соответствующие механизмы деградации древесины.
2. Проанализировать влияние процессов деградации на изменение прочностных и деформативных характеристик конструкционной древесины.
3. Исследовать существующие подходы к моделированию и прогнозированию долговечности, включая методы ускоренных испытаний.
4. Оценить влияние современных методов защиты на продление расчетного срока службы конструкций.

Древесина, как традиционный и возобновляемый строительный материал, обладает рядом уникальных достоинств: высокое отношение прочности к плотности, низкая теплопроводность, технологичность. Под долговечностью конструкции понимается ее способность сохранять требуемые эксплуатационные свойства в течение заданного срока службы с необходимыми интервалами технического обслуживания. В условиях агрессивных сред этот срок может сокращаться в разы по сравнению с расчетным, что приводит к авариям, повышенным затратам на ремонт и преждевременному выбытию объектов из эксплуатации.

Агрессивность среды по отношению к древесине – комплексное понятие, включающее физические, химические и биологические факторы. К наиболее разрушительным относятся:

● Постоянная или циклическая повышенная влажность (> 20–22 %).

● Биологические агенты: дереворазрушающие грибы (домовые, плесневые, гнилевые), древоточцы (жуки-точильщики, термиты в южных регионах).

● Химические воздействия: кислоты, щелочи, соли (в промышленных зданиях, сельскохозяйственных сооружениях, объектах инфраструктуры).

● Климатические циклы: замораживание-оттаивание, УФ-излучение, приводящие к растрескиванию и эрозии поверхности.

Основу несущей способности древесины составляют целлюлозные фибриллы, связанные лигнином и гемицеллюлозами.

● Биологическое поражение. Дереворазрушающие грибы выделяют ферменты (целлюлазы, лакказы), которые гидролизуют целлюлозу и разрушают лигнин. Это приводит к прогрессирующей потере массы и образованию дефектной (рыхлой, расслаивающейся) структуры. Прочность на сжатие и изгиб может снизиться на 50–80 % уже на ранних и средних стадиях гниения. Важно отметить,что процесс имеет пороговый характер: критическая влажность (около 22–25 %) и температура (+5…+40 °C) являются необходимыми условиями для развития гриба.

● Гидролитическое разрушение. Постоянное увлажнение, особенно в сочетании с повышенной температурой, вызывает гидролиз гемицеллюлоз и аморфных областей целлюлозы. Длинные полимерные цепи рвутся, что снижает вязкость и ударную прочность материала.

● Циклическое замораживание-оттаивание. При замерзании связанная вода в порах древесины расширяется, создавая микротрещины в клеточных стенках. Многократные циклы приводят к накоплению повреждений, снижению прочности при поперечном изгибе и раскалывании.

Классические строительные нормы задают условные сроки службы конструкций, но не содержат детальных методик для прогнозирования остаточного ресурса в конкретных агрессивных условиях. Расчетная оценка требует перехода от детерминированных моделей к вероятностным и кинетическим.

1. Идентификация и количественная оценка агрессивного фактора. Для влажности – это время пребывания материала выше критического уровня влажности (Т > 22 %). Для биопоражения –

может использоваться концепция «дозы увлажнения» или прямое измерение активности гриба. Для химических сред – концентрация агента и время контакта.

2. Установление «доза-эффект». На основе лабораторных исследований, в том числе ускоренных испытаний в климатических камерах, строится регрессионная зависимость между ключевым прочностным параметром предел прочности при изгибе, сжатии, модуль упругости и «дозой» агрессивного воздействия. Ускоренные испытания проводятся при интенсифицированных параметрах, а именно повышенная температура, влажность, концентрация спор, но с обязательным последующим пересчетом на реальные условия с использованием известных закономерностей, например, правила Вант-Гоффа для температурной зависимости).

3. Построение прогнозной модели. Наиболее адекватными являются кинетические модели, описывающие скорость снижения прочности во времени. Для практических целей часто используют упрощенные линейные или экспоненциальные модели ухудшения свойств.

4. Определение критерия отказа. Долговечность исчерпывается, когда остаточная прочность достигает минимально допустимого уровня, определяемого коэффициентом запаса по несущей способности с учетом ответственности конструкции. Момент времени, при котором, и будет расчетной долговечностью.

5. Учет защитных мероприятий. В модель может быть введен поправочный коэффициент увеличения долговечности. Например, для глубокой пропитки эффективными антисептиками коэффициент увеличения долговечности может составить 3–5 раз по сравнению с незащищенной древесиной. Для конструктивной защиты от увлажнения, а именно обеспечение вентиляции, гидроизоляция – 2–3 раза.

Расчетная модель снижения несущей способности. Общая формула долговечности – Расчетный срок службы:

$$T = T_0 \cdot \kappa_{env} \cdot \kappa_{bio} \cdot \kappa_{chem} \cdot \kappa_{main} \ , \qquad (1)$$

где T_0 – базовый срок службы (для хвойных пород 40–60 лет); κ_{env} – коэффициент среды; k_{bio} – коэффициент биозащиты; κ_{chem} – коэффициент химической агрессии; κ_{main} – коэффициент обслуживания.

Снижение расчетного сопротивления:

$$R(t) = R_0 \cdot e^{-\alpha t}, \quad (2)$$

где R_0 – начальная прочность; α – коэффициент деградации (0.01–0.05 1/год); t – время эксплуатации.

Для морской среды а увеличивается на 30–50 %.

При постоянной влажности скорость гниения:

$$d = \nu \cdot t, \quad (3)$$

где ν – 0.5–1.5 мм/год (для умеренного климата); t – годы эксплуатации.

Критический предел – потеря 25 % сечения несущего элемента.

Основная сложность заключается в неоднородности реальных условий. Агрессивное воздействие редко бывает стабильным во времени и пространстве. В одной конструкции могут сочетаться участки с активным гниением и относительно сухие зоны. Поэтому расчетную оценку целесообразно проводить для наиболее уязвимого узла.

Важным инструментом верификации моделей и оценки текущего состояния являются неразрушающие и малоповреждающие методы диагностики: резистография – измерение сопротивления дрелированию, ультразвуковой метод, визуально-простурочный метод с использованием щупов. Полученные данные позволяют скорректировать прогноз, уточнив начальные условия или текущую степень деградации.

Таким образом расчетная оценка долговечности деревянных конструкций в агрессивных средах – это комплексная инженерная задача, требующая междисциплинарного подхода, сочетающего знания в области строительной механики, биологии древесины и химии. Ее решение возможно на основе кинетических моделей, связывающих интенсивность воздействующих факторов со скоростью снижения прочностных характеристик материала. Ключевыми этапами являются: корректная идентификация и ранжирование агрессивных факторов, получение экспериментальных

данных о «дозе-эффекте», выбор и калибровка математической модели деградации, а также установление четкого критерия исчерпания несущей способности.

Внедрение такого подхода в практику проектирования и эксплуатации позволит перейти от пассивного ожидания отказа к активному управлению ресурсом конструкции. Это даст возможность обоснованно планировать защитные мероприятия, своевременно назначать диагностику и ремонт, а в итоге – значительно повысить надежность и экономическую эффективность использования деревянных конструкций даже в сложных условиях эксплуатации.

Список литературы

1. СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции». Актуализированная редакция СНиП II-25-80. – М., 2017.

2. Вентцель М.К. Защита древесины от разрушения и возгорания. – М. : Издательство АСВ, 2018. – 256 с.

3. Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. – М. : МГУЛ, 2007. – 351 с.

4. Болдырев А.С. Прогнозирование долговечности деревянных конструкций в условиях биоповреждений // Строительные материалы. – 2020. – № 5. – С. 48–53.

5. Немировский Ю.Д., Аристонов В.В. Надежность и диагностика деревянных конструкций. – Новосибирск : Наука, 2009. – 215 с.

6. ГОСТ 30495-2018 «Древесина конструкционная. Оценка долговечности по результатам испытаний на ускоренное старение». – М. : Стандартинформ, 2018.

7. Лелеко В.Д. Патология и реконструкция деревянных конструкций зданий. – СПб. : СПбГАСУ, 2012. – 184 с.

УДК 504.05

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ НАГРУЗОК

Коник Анна Юрьевна[1], Финагенова Надежда Витальевна[2]

Кубанский государственный технологический университет,

[1]yurevna-nyuta@bk.ru, [2]студентка, finagenovanadya@gmail.com

****

Аннотация. Статья посвящена исследованию особенностей напряженного состояния элементов из клееной древесины в условиях неравномерного силового воздействия. Рассмотрены характерные случаи локального и неравномерного нагружения в реальных конструкциях: опирание, приложение сосредоточенных сил, наличие вырезов и врубок. Проанализировано влияние анизотропной и слоистой структуры материала на распределение и концентрацию напряжений. Особое внимание уделено качеству клеевого шва как критическому фактору, определяющему целостность конструкции. Выявлены основные виды разрушений, инициируемых в зонах концентрации: скалывание по клеевому соединению, отщеп и поперечный изгиб ламелей. Обоснована необходимость комплексного подхода к проектированию, сочетающего анализ глобальной работы конструкции с детальной оценкой напряженного состояния в потенциально опасных узлах. Результаты исследования способствуют повышению точности расчетов и надежности современных деревянных конструкций.

Ключевые слова: клееная древесина, напряженное состояние, неравномерная нагрузка, концентрация напряжений, клеевой шов, анизотропия, локальное нагружение, конструкционная надежность.

Задачи исследования:

1. Систематизировать основные виды неравномерных нагрузок, действующих на клееные деревянные конструкции.

2. Проанализировать влияние структурных особенностей клееной древесины на перераспределение внутренних усилий.

3. Исследовать характер разрушений, возникающих из-за концентрации напряжений в зонах опирания, приложения сосредоточенных сил и геометрических неоднородностей.

4. Обобщить подходы к оценке и повышению надежности конструкций в условиях сложного напряженного состояния.

Клееная древесина, являясь высокотехнологичным конструкционным материалом, широко применяется в большепролетных и сложнопрофильных конструкциях: балках, арках, рамах и пространственных системах. Эксплуатационные нагрузки в таких объектах редко распределяются равномерно. Напротив, реальная работа конструкции характеризуется множеством локальных силовых воздействий, создающих сложное и неравномерное напряженное состояние. Классический расчет на изгиб, основанный на допущении равномерного распределения напряжений по высоте сечения в удалении от точек приложения сил, оказывается недостаточным для оценки прочности в целом ряде критически важных узлов. Неучет местных эффектов может привести к неожиданным и преждевременным разрушениям, часто носящим хрупкий характер.

Неравномерность нагрузок проявляется в нескольких типичных для практики случаях. Наиболее распространенным является локальное опирание. Когда балка передает нагрузку на колонну или стену через ограниченную опорную площадку, в зоне контакта возникают высокие напряжения смятия поперек волокон и значительные сдвигающие усилия.

Проверка на смятие поперек волокон (для зон локального опирания)

$$\sigma_{см} = \frac{N}{F_{см}} \le R_{см} , \qquad (1)$$

где $\sigma_{см}$ – напряжение смятия; N – сжимающее усилие (опорная реакция); $F_{см}$ – площадь смятия (опорная площадка); $R_{см}$ – расчетное сопротивление древесины смятию поперек волокон.

Эти усилия стремятся оторвать (отщепить) торец балки или вызвать скалывание по клеевому шву вблизи опоры. Другой пример – приложение сосредоточенной силы в пролете, имитирую-

щее воздействие от подвесного оборудования или промежуточной опоры. Под грузом возникают пиковые изгибающие напряжения, но более опасными часто становятся повышенные касательные напряжения, которые могут привести к продольному расслоению пакета.

Геометрия конструкции также вносит свой вклад в неравномерность. Наличие вырезов, отверстий для коммуникаций или врубок в узловых соединениях создает так называемые концентраторы напряжений. В острых углах таких вырезов теоретически напряжения могут стремиться к бесконечно большим значениям, что на практике выливается в образование трещин, идущих вдоль волокон или отрывающих фрагмент материала.

Проверка прочности при сложном напряженном состоянии (для зон с вырезами и концентраторами)

$$\sqrt{\sigma^2 + \tau^2} \le R_a, \qquad (2)$$

где σ – нормальное напряжение; τ – касательное напряжение; R_a – расчетное сопротивление материала при сложном напряженном состоянии.

Поведение клееной древесины под нагрузкой кардинально отличается от поведения изотропных материалов, таких как металл или бетон, из-за ее природной анизотропии. Прочность и жесткость древесины вдоль волокон в десятки раз превышают аналогичные характеристики поперек волокон. Это означает, что даже относительно небольшие растягивающие напряжения, направленные перпендикулярно волокнам, могут привести к отказу, тогда как вдоль волокон материал способен воспринимать существенно большие усилия. В клееном элементе эта анизотропия усложняется слоистой структурой. Конструкция представляет собой композит, состоящий из отдельных ламелей, соединенных клеевыми прослойками. Прочность и жесткость этого композита зависят не только от свойств древесины, но и от характеристик клеевого шва: его прочности на сдвиг, устойчивости к расслаиванию и долговечности. Слоистая структура может как нивелировать, так и усугублять концентрацию напряжений. Например, в зоне действия сосредоточенной нагрузки напряжения могут перераспределяться между несколькими ламелями, но если

клеевой шов окажется слабым звеном, то разрушение начнется именно с расслоения пакета.

Основные механизмы разрушения, инициируемые в условиях неравномерного нагружения, напрямую связаны с анизотропией и слабыми плоскостями материала. Скалывание по клеевому шву – один из самых распространенных видов отказа.

Проверка на скалывание при изгибе (для зоны опор и сосредоточенных грузов)

$$\tau = \frac{QS}{Ib} \le R_{ck}, \qquad (3)$$

где τ – касательные напряжения; Q – расчетная поперечная сила; S – статический момент сдвигаемой части сечения относительно нейтральной оси; I – момент инерции сечения; B – ширина сечения (расчетная ширина); R_{ck} – расчетное сопротивление скалыванию вдоль волокон (для клееной древесины принимается по СП 64 с учетом коэффициентов условий работы).

Он происходит, когда касательные напряжения в плоскости соединения ламелей превышают предел прочности клея на сдвиг. Этот тип разрушения особенно характерен для участков вблизи опор и под сосредоточенными грузами, где значения поперечной силы максимальны. Отщеп (или откол) древесины возникает под действием растягивающих напряжений, направленных перпендикулярно волокнам.

В зоне опирания, где вертикальная реакция давит на торец балки, возникают радиальные растягивающие усилия, способные оторвать часть материала. Изгиб отдельных ламелей может наблюдаться при местном смятии, когда наружные слои пакета деформируются независимо от внутренних, что указывает на недостаточную жесткость или прочность клеевого соединения.

Таким образом, анализ напряженного состояния при проектировании должен быть направлен не только на проверку глобальных изгибающих моментов, но и на детальную оценку критических зон. Современные подходы включают использование численного моделирования для визуализации полей напряжений и выявления точек их пиковых значений. Данные моделирования должны подтвер-

ждаться натурными испытаниями типовых узлов, в ходе которых фиксируются реальные деформации и нагрузки, вызывающие начало разрушения. На практике для обеспечения надежности применяется комплекс мер: увеличение опорных площадок, скругление острых углов в вырезах, установка металлических накладок и стяжных болтов в зонах высоких сдвиговых усилий.

Важнейшую роль играет технологический контроль: использование конструкционных клеев с гарантированными свойствами, соблюдение режимов склейки и тщательная сортировка ламелей, особенно для наружных слоев пакета.

Таким образом, проведенный анализ подтверждает, что напряженное состояние клееной древесины при неравномерном распределении нагрузок является сложным и многокомпонентным. Ключевыми факторами, определяющими его характер, выступают анизотропия древесного материала и свойства клеевого соединения в слоистой структуре пакета. Наиболее опасными с точки зрения инициации разрушения являются зоны локального опирания, точки приложения сосредоточенных сил и участки с резкими изменениями геометрии, где происходит концентрация напряжений.

Основными механизмами разрушения в этих условиях выступают скалывание по клеевому шву и отщеп древесины от действия напряжений, направленных перпендикулярно волокнам. Для адекватной оценки несущей способности конструкции необходимо дополнять общие расчеты детальным анализом работы потенциально опасных узлов, используя для этого как современные методы численного моделирования, так и данные физических испытаний.

Повышение надежности клееных деревянных конструкций достигается за счет комплексного подхода, включающего в себя оптимизацию конструктивных форм для сглаживания концентраторов напряжений, применение проверенных решений по усилению критических узлов и неукоснительное соблюдение технологических требований при изготовлении, с особым вниманием к качеству склейки. Учет особенностей напряженного состояния при неравномерном нагружении позволяет в полной мере реализовать преимущества клееной древесины, создавая надежные, долговечные и экономичные конструкции.

Список литературы

1. СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции». Актуализированная редакция СНиП II-25-80. – М., 2017.
2. Болдырев А.С. Клееные деревянные конструкции: проектирование, изготовление, применение. – М. : Издательство АСВ, 2021. – 312 с.
3. Перельмутер А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. – Киев : Сталь, 2017. – 600 с.
4. Гринь И.М., Панченко В.Л. Напряженное состояние и прочность клееной древесины в зонах концентрации напряжений // Строительная механика и расчет сооружений. – 2019. – № 4. – С. 35–41.
5. Физические методы испытания древесины / А.Н. Чубинский, А.А. Тамби, Г.С. Варанкина [и др.]. – Санкт-Петербург, 2015 – 207 с.
6. Угрюмов С.А. Композиционные материалы на основе шпона и древесно-клеевой композиции. – Кострома, 2016. – 154 с.

УДК 69.059

ЗЕЛЕНЫЕ КРОВЛИ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Кубрина Софья Александровна

Кубанский государственный технологический университет,

студентка, sofiakubrina2004@gmail.com

****

Аннотация. Рассмотрены зеленые кровли как метод повышения энергоэффективности при реконструкции городских зданий. Выполнен анализ конструктивных типов озеленяемых кровель с учетом ограничений, связанных с несущей способностью объектов. Оценено влияние зеленых кровель на энергоэффективность. Выявлены эффекты основные барьеры внедрения. Обозна-

чены условия рационального применения экстенсивных систем в программах комплексной реконструкции.

Ключевые слова: зеленые кровли, реконструкция зданий, энергоэффективность, экстенсивное озеленение.

Современная ситуация в российских городах характеризуется рядом факторов, которые усложняют обеспечение комфортной среды для жизни. Среди них можно выделить высокую плотность застройки, сокращение доступных для горожан территорий и накопленные экологические последствия индустриального развития. Как следствие, в городах сформировались устойчивые явления: тепловые острова, снижение качества воздуха, повышенные концентрации загрязняющих веществ и связанные с этим риски для здоровья населения. На этом фоне закономерно растет потребность жителей в чистом воздухе и благоустроенных рекреационных зонах.

Параллельно с этим фиксируются последствия глобальных климатических изменений, которые создают дополнительные нагрузки на городскую инфраструктуру. Во-первых, увеличивается интенсивность осадков: аномальные ливневые нагрузки превышают пропускную способность ливневых систем, рассчитанных на прежние нормативы. Во-вторых, учащаются периоды аномальной жары. Эффект теплового острова в сочетании с нагревом кровельных покрытий приводит к критическому перегреву верхних этажей в зданиях старой застройки, что делает их непригодными для комфортного проживания без систем охлаждения. В сложившихся условиях стандартные подходы к ремонту и реконструкции зданий старого фонда перестают быть эффективными. Традиционные методы, такие как замена кровли или утепление фасадов, решают лишь отдельные задачи и не учитывают комплексный характер новых климатических нагрузок. Поэтому при реконструкции старой застройки требуется внедрение таких технических решений, которые одновременно снижают нагрузку на ливневую канализацию и предотвращают перегрев верхних этажей. Меры по адаптации должны закладываться уже на этапе проектирования реконструкции, чтобы преобразовать существующий жилой фонд в устойчивую к климатическим изменениям среду.

Анализ международного опыта показывает, что одним из ключевых инструментов устойчивого развития городов являются зеленые кровли. Они приобретают особую ценность в условиях сложившейся плотной застройки, где их можно использовать при реконструкции для создания озелененных архитектурно-ландшафтных объектов.

Зеленые крыши представляют собой кровельные конструкции, на которых высажена растительность. В зависимости от функционального назначения они подразделяются на эксплуатируемые (предназначенные для отдыха, занятий спортом и других активностей) и неэксплуатируемые (выполняющие преимущественно экологические функции). Создание таких систем требует применения комплексных инженерных решений, направленных на повышение энергоэффективности, устойчивости и экологической эффективности зданий [1].

Конструкция зеленой кровли состоит из следующих слоев:

1. Основание. Представляет собой несущую конструкцию кровли, которая воспринимает и передает все нагрузки от вышележащих слоев на несущие элементы здания.

2. Гидроизоляционный слой. Защищает несущие конструкции от проникновения влаги, отделяя почвенный слой. Выполняется из полимерных мембран, битумно-полимерных рулонных материалов или жидкой резины.

3. Теплоизоляция. Теплоизоляционный слой может выполняться из пробковых плит, экструдированного пенополистирола или пенополиуретана.

4. Корнезащитный слой. Предотвращает повреждение кровли корнями растений. Представляет собой полимерную пленку высокой плотности, фольгу или мембрану с корнезащитными добавками, укладываемую поверх гидроизоляции.

5. Дренажный слой. Отводит избыток воды и одновременно удерживает часть влаги, необходимой для поддержания жизнедеятельности растений. Выполняется из гравия, керамзита или мембран.

6. Фильтрационный слой. Защищает дренаж от засорения частицами грунта. Для этого используется геотекстиль, который свободно пропускает воду, но задерживает мелкие фракции субстрата.

7. Плодородный грунт (субстрат). Грунты, используемые на крыше, должны быть легкими, теплыми, пористыми и влагоем-

кими. Обычно используется легкая почвосмесь, на основе керамзита, перлита, торфа и песка, которая обеспечивает закрепление растений, их питание и удержание влаги.

8. Растения. Завершающий слой, формирующий растительный покров. Для экстенсивных кровель используются седумы, мхи и низкорослые многолетники, устойчивые к засухе и морозам [2].

По технологии стационарного озеленения кровли бывают трех видов: экстенсивные, полуэкстенсивные и интенсивные. Между собой они различаются компонентами, выбор которых зависит от типа кровли, оказываемых на нее нагрузок и ассортиментом посадочного материала. Экстенсивные представляют собой легкую конструкцию с толщиной слоя грунта от 5 до 15 сантиметров. На них высаживают неприхотливые многолетние растения, устойчивые к засухе, ветру и солнечному излучению. Таким растениям обычно бывает достаточно дождевой влаги, поэтому дополнительный полив не требуется. Главное преимущество этого типа – малый вес, что позволяет применять его на зданиях старой застройки без усиления несущих конструкций. Полуинтенсивный тип кровель со слоем субстрата от 15 до 30 см подходит для выращивания кустарников. Интенсивные кровли, напротив, имеют глубокий слой грунта от 30 до 70 см, достаточный для посадки кустарников и даже деревьев. Они несут высокую нагрузку и требуют мощных перекрытий, поэтому в рамках реконструкции типового жилого фонда применяются редко и реализуются на отдельно стоящих объектах с усиленным каркасом [3].

В устройстве зеленых кровель выделяют следующие ключевые технологические направления, актуальные в условиях современных городов:

1. Регулирование ливневого стока. Конструкция зеленой кровли работает как буфер: субстрат и дренажный слой впитывают дождевую воду, задерживая ее на кровле. В результате снижается общий объем стока и сглаживаются пиковые нагрузки на ливневую канализацию во время сильных ливней. Во время интенсивных ливней зеленая кровля сглаживает пик сброса, растягивая его во времени. Согласно измерениям, пиковая нагрузка на ливневую сеть снижается в несколько раз по сравнению с гладкой кровлей. То есть вода поступает в коллекторы не лавинообразно, а небольшими порциями, что критически важно для предотвращения подтоплений. При одиночном применении эффект локаль-

ный, но при массовом внедрении на квартале или районе снижение нагрузки становится значительным. Ливневые трубы и коллекторы работают в штатном режиме без переполнения, уменьшается риск затопления проезжих частей и подвалов [4].

2. Повышения энергоэффективности. Зеленая кровля способствует снижению теплопотерь и перегрева зданий, что ведет к сокращению затрат на кондиционирование и отопление. Зимой растительный слой и грунт выполняют функцию дополнительной теплоизоляции, а в летний период охлаждение происходит за счет испарения влаги листьями и поверхностью почвы. Кроме того, многослойная конструкция защищает гидроизоляцию от ультрафиолета и перепадов температур, продлевая срок службы кровли.

3. Очистка воздуха. Зеленые кровли выполняют функцию биологического фильтра. Растительный покров задерживает взвешенные в воздухе частицы пыли и сажи, которые затем оседают на листьях и смываются с дождем в грунт.

4. Шумоизоляция. Многослойная конструкция зеленой кровли обладает звукопоглощающими свойствами. Пористый слой грунта и растительный покров рассеивают и частично поглощают звуковые волны. В результате уровень шума, проникающего в здание, снижается на 5-10 дБ. Это играет важную роль для районов, расположенных вблизи автомагистралей, железных дорог и аэропортов.

Особенности применения при реконструкции

При переходе от теоретических преимуществ к практической реализации на объектах старой застройки возникает ряд ограничений и требований, который необходимо учитывать на этапе проектирования.

Конструктивные ограничения

Основное ограничение при устройстве зеленых кровель на существующих зданиях связано с несущей способностью перекрытий. Экстенсивная зеленая кровля в сухом состоянии имеет нагрузку 50–80 кг/м², в водонасыщенном состоянии нагрузка 80–160 кг/м², в зависимости от толщины субстрата и состава дренажных слоев [5]. Таким образом, зеленая кровля увеличивает нагрузку на перекрытие в среднем в 2 раза.

На первом этапе реконструкции проводится обследование несущих конструкций с оценкой их фактической способности воспринимать дополнительные нагрузки. При недостаточной не-

сущей способности возможны два основных решения. Первое – применение облегченных субстратов на основе керамзита, перлита или пемзы вместо традиционного минерального грунта, что позволяет снизить вес конструкции на 20–30 процентов. Второе – частичное озеленение: зеленые участки размещаются локально, в зонах с наибольшей несущей способностью, например над несущими стенами и колоннами.

Также при устройстве зеленой кровли в процессе реконструкции особое внимание уделяется узлам примыкания к парапетам, стенам, вентиляционным шахтам и выходным люкам. Уровень кровли поднимается за счет слоев субстрата и дренажа, поэтому существующие водоприемные воронки оказываются ниже нового покрытия. Их необходимо наращивать специальными удлинителями или устанавливать новые воронки с защитными корзинами, предотвращающими засорение дренажа. Примыкания к вертикальным поверхностям должны быть подняты выше уровня субстрата минимум на 15–20 сантиметров и дополнительно гидроизолированы. Также требуется организация технических зон вдоль парапетов и вокруг выходов – полос из гравия или тротуарной плитки, свободных от растений, для доступа к обслуживанию и осмотру.

Зеленая кровля требует периодического ухода: осмотра, удаления сорняков, подкормки, пополнения растений на выпавших участках, проверки дренажа и водоприемных воронок. При реконструкции старого здания необходимо предусмотреть удобный и безопасный выход на кровлю, а также пути перемещения по ней. Если существующие выходы не соответствуют требованиям или отсутствуют, требуется их устройство или модернизация. Дополнительно по периметру кровли и вокруг зон с перепадом высот должны быть установлены ограждения высотой не менее 120 сантиметров, соответствующие действующим нормативам безопасности.

Экономические аспекты

Устройство зеленой кровли требует более высоких первоначальных вложений по сравнению с традиционным ремонтом. Капитальные затраты на экстенсивную кровлю выше за счет дополнительных слоев: корнезащиты, дренажа, фильтра, субстрата и посадочного материала. Однако для объективной оценки экономической эффективности необходимо учитывать полный жизненный цикл конструкции, а не только первоначальные затраты.

Окупаемость зеленой кровли складывается из трех основных составляющих:

1) Экономия на энергоресурсах. Зеленая кровля снижает теплопотери в зимний период до 10 % за счет дополнительной теплоизоляции слоем грунта. В летний период зеленая кровля отражает солнечную радиацию и поглощает часть тепла через испарение влаги. Температура её поверхности на 30–40 °С ниже, чем у традиционной кровли.

Благодаря этому температура воздуха под крышей в жаркий день может быть ниже на 3–5 °С, что существенно снижает расходы на охлаждение помещений до 20 %

2) Продление срока службы кровельного покрытия: гидроизоляция под слоем зеленой кровли не подвергается ультрафиолету и перепадам температур в результате срок службы кровли увеличивается в 2–3 раза с 15–20 до 40–50 лет. Это снижает расходы на будущие ремонты.

3) Возможная экономия на ливневой канализации: при массовом внедрении зеленых кровель снижается потребность в модернизации коллекторов и строительстве дорогостоящих ливневых очистных сооружений.

Проведенный анализ позволяет рассматривать зеленые кровли как многофункциональное решение, которое в ходе одной реконструкции одновременно повышает водоэффективность и энергоэффективность здания. Основными барьерами для внедрения остаются дополнительная нагрузка на перекрытия и высокая первоначальная стоимость. Исходя из этого рекомендуется применять преимущественно экстенсивные системы, включать их в программы комплексной реконструкции кварталов для получения эффекта масштаба, а также разрабатывать меры стимулирования для собственников. Поскольку выгоды от снижения риска подтоплений и улучшения городского микроклимата получает не только владелец здания, но и город в целом, целесообразно введение льгот, субсидий или снижения платы за подключение к ливневой канализации.

Список литературы

1. Стандарты зеленых крыш в объектах строительства / С.Г. Шеина, Р.В. Балашев, Р.Д. Шахиев [и др.] // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. – 2025. – Т. 4. – № 2. – С. 117–127.

2. Саид А.Н., Логинова П.А., Леонова А.Н. Зеленая кровля – особенности проектирования и преимущества эксплуатации // Бюллетень науки и практики. – 2019. – Т. 5. – № 5. – С. 247–253.

3. Сысоева Е.В., Москвитина Л.В. Эффективность применения «зеленых» крыш на территории России // Инновации и инвестиции. – 2021. – № 10. – С. 129–134.

4. Токарева Е.С., Мелехин А.А., Ручкинова О.И. Достоинства и недостатки «зеленых» крыш // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2016. – Т. 2. – С. 365–371.

5. Бочкова И.Ю., Тулуш М.Д. К вопросу об экстенсивном озеленении кровли // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2020. – Т. 24. – № 5. – С. 5–11.

УДК 691

РАСЧЕТ И СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН: КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ

Ливенцова Анастасия Вячеславновна

Кубанский государственный технологический университет,

студентка, liventsova999@gmail.com

****

Аннотация. Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения надежности железобетонных конструкций, являющихся основой большинства современных строений. Железобетонные колонны подвергаются интенсивному износу и требуют периодического усиления. Развитие инженерных технологий привело к появлению широкого спектра методов усиления, каждый из которых характеризуется собственными достоинствами и ограничениями. Данная статья посвящена исследованию традиционных и современных композитных методов усиления железобетонных колонн, выявлению их особенностей и определению сферы рационального применения.

Ключевые слова: усиление колонн, железобетон, традиционные методы, композитные материалы, арматурные пояса, полимерные композиты, металлический профиль, износ конструкций, капитальный ремонт, строительный инжиниринг.

Введение

Железобетонные колонны играют ключевую роль в обеспечении прочности и стабильности любых зданий и сооружений. Со временем и под воздействием внешних факторов (нагрузка, вибрация, климатические условия) возникают дефекты и снижение прочности колонн, что создает угрозу аварийных ситуаций. Задача инженеров состоит в восстановлении и повышении несущих способностей этих конструкций посредством различных методов усиления.

До недавнего времени основными способами усиления были традиционные методы, такие как дополнительное армирование, укрепление с помощью кирпичных кладок и инъекции цемента. Тем не менее, развитие современной науки позволило разработать новые эффективные композитные материалы, которые показывают отличные результаты при меньшем объеме работ и сокращенных сроках выполнения ремонтных мероприятий [1].

Цель данной статьи – сравнить классические и новейшие композитные методы усиления железобетонных колонн, выявить их преимущества и недостатки, сформулировать критерии выбора оптимальной технологии усиления для различных условий эксплуатации.

Рассмотрим подробнее некоторые широко применяемые традиционные методы:

1. Железобетонная рубашка (обетонирование). Устройство дополнительного слоя бетона вокруг колонны с установкой продольной арматуры и хомутов. Применяется для: увеличения площади сечения, повышения несущей способности по сжатию, увеличения жёсткости, улучшения работы при изгибе. Это один из самых распространённых способов усиления.

2. Наращивание сечения (частичное добетонирование). Увеличение размеров колонны с одной или нескольких сторон. Используется когда: колонна работает с изгибом, необходимо

усиление в определённой плоскости, нет возможности выполнять обойму по всему периметру.

3. Металлическая обойма. Установка вокруг колонны: уголков по граням, стальных полос, листовой стали, хомутов. Создаёт обжатие бетона и повышает: прочность на сжатие, трещиностойкость, устойчивость.

4. Установка дополнительных металлических профилей с использованием приставных швеллеров, двутавров, уголков, которые включаются в совместную работу с колонной через сварку, болты или анкеры.

5. Устройство стальных хомутов (стяжек). Дополнительные поперечные элементы для: ограничения поперечных деформаций, повышения работы бетона в условиях трёхосного сжатия, предотвращения хрупкого разрушения.

6. Предварительное обжатие (преднапряжение). Создание обжатия колонны с помощью: натянутых стержней, стальных тяжей, повышает несущую способность и трещиностойкость [2].

Сегодня широкое распространение получили композитные материалы, отличающиеся лёгкостью, высоким модулем упругости и стойкостью к различным видам воздействия.

Композитные материалы, такие как углеволокно и стекловолокно, стали популярным выбором для усиления железобетонных конструкций благодаря своим уникальным свойствам. Наиболее распространенными композитными материалами, применяемыми для усиления железобетонных конструкций, являются полимерные композиционные материалы, армированные волокнами (FRP) [3]. В зависимости от типа волокна различают:

Углеволокнистые ленты и сетки изготавливаются из тонких нитей атомов углерода, объединенных в микроскопические кристаллы.

Стекловолокнистые материалы также широко используются для усиления железобетонных конструкций. Они обеспечивают дополнительную прочность и защиту от внешних воздействий.

Базальтопластики (BFRP) – отличаются хорошей коррозионной стойкостью и промежуточными механическими свойствами.

Вот основные композитные методы усиления железобетонных колонн, применяемые при реконструкции зданий:

1. Обоймы из композитных материалов (обёртывание) (рис. 1).

Наиболее распространённый метод – устройство внешней обоймы из:

– углеродных лент (CFRP);
– стеклопластика (GFRP);
– базальтопластика (BFRP).

Материал наклеивается по периметру колонны с пропиткой эпоксидными смолами.

Эффект:

– создание поперечного обжатия бетона;
– повышение прочности при сжатии;
– увеличение пластичности;
– повышение сейсмостойкости.

Колонна работает в условиях трёхосного напряжённого состояния.



Рисунок 1 – Обоймы из композитных материалов

2. Продольное композитное армирование при помощи наклейки композитных лент или ламелей вдоль оси колонны. Применяется при: недостатке несущей способности по изгибу, работе колонны с внецентренным сжатием, усилении в определённой плоскости.

3. Комбинированное усиление. Это сочетание продольных ламелей, поперечного обёртывания. Используется при комплексном усилении – по продольной силе и изгибу одновременно [4].

Сравним традиционные методы усиления и с применением композитных материалов, для объективного сравнения рассмотрим основные критерии.

Таблица 1 – Сравнение традиционных и композитных методов усиления железобетонных колонн

Параметр	Традиционные методы	Композитные материалы
Прочность	Средняя	Высокая
Долговечность	Низкая/средняя	Высокая
Скорость монтажа	Низкая	Высокая
Трудоемкость	Высокая	Средняя
Стоимость	Низкая-средняя	Высокая
Коррозионная стойкость	Низкая	Высокая
Минимизация веса	Незначительная	Значительная

Композитные методы усиления железобетонных колонн обладают очевидными техническими и экономическими преимуществами по сравнению с традиционными способами (Табл. 1). Их целесообразно применять в ответственных конструкциях, эксплуатирующихся в тяжёлых условиях, а также при необходимости оперативного и минимально травматичного вмешательства в действующие здания и сооружения [5].

Использование композитных материалов, таких как углеродные и стеклянные волокна, стало распространенным методом усиления железобетонных колонн при реконструкции зданий и сооружений. Рассмотрим несколько практических примеров применения этих технологий.

Реабилитация исторического здания в центре Москвы.

Здание было построено в конце XIX века и нуждалось в срочном ремонте из-за износа железобетонных колонн первого этажа. Было принято решение усилить колонны композитными материалами.

Особенности реализации:

- Предварительно провели обследование и определили характер и глубину повреждений.
- Использовали композитные углеродные холсты толщиной всего 0,2 мм, которые покрывали всю поверхность колонны.
- Дополнительно установили углеродные композитные обоймы, обеспечивающие всестороннюю поддержку.

В результат колонны восстановлены без снижения пространственных объемов помещений, повысились несущие способности конструкции, и здание вновь открылось для публики [6].

Существуют уникальные разработки, демонстрирующие перспективы композитных технологий. Один из патентированных способов усиления квадратных колонн сочетает два этапа:

Патентованный способ:

- Сначала производится обработка поверхности колонн специальной сеткой с последующей заливкой тонким слоем торкрет-бетона.
- Затем наносится углеродная композитная ткань в виде полной обоймы.

Такой подход позволяет компенсировать неоднородность исходной конструкции и создавать надежную систему усиления [7].

При выборе метода усиления железобетонных колонн важно оценить экономический аспект наряду с техническими показателями. Ниже представлена подробная методика сравнительного анализа усиления железобетонных колонн диаметром 400 мм, показывающий разницу между двумя подходами: традиционным способом (использование металлической обоймы) и композитным (укрепление углеродными волокнами) [8].

Таблица 2 – Сравнительный анализ усиления железобетонных колонн диаметром 400 мм

	Традиционный метод усиления (металлическая обойма):	Композитный метод усиления (углеродные волокна):
1	2	3
Размеры	Параметры уголка 110х8 А = 17,2 $см^2$; i_x = 3,39, i_y = 4.28 см; I_x = 198 $см^4$; z_0 = 30 мм	tc = 1 *мм*
Материал обоймы	сталь марки С3 Ry = 240МПа	Количество слоёв волокон: n = 3 Ry = 2000МПа
Площадь:	34,4 $см^2$	7,7 $см^2$

Окончание таблицы 2

1	2	3
Общая несущая способность колонны: $\phi[R_b A_b + R_s A_s] + 2\phi\gamma_{ss} R_{scs} A_{расп}$ $\phi[R_b A_b + R_s A_s] + R_к A_к$	3570 кН	4127 кН
Проверяем условие прочности $F_{общ} > N$	3570 > 1000	4127 > 1000
Выводы	Условие выполняется	Таким образом, композитный метод оказался эффективнее традиционного, достигнув удовлетворительного уровня прочности при минимальных затратах на материалы и труд.

Вывод: Композитные материалы предоставляют лучшие показатели по соотношению "стоимость-качество-время". Они снижают нагрузку на фундамент, быстрее монтируются и улучшают качество усиления, делая реконструкцию экономически выгодной и технически эффективной [Таблица 2].

Список литературы

1. Галкин А.С. Методы реконструкции и усиления строительных конструкций. – М. : Издательство АСВ, 2019. – 352 с.

2. Конев В.Е., Курочкин А.Б. Справочник инженера-строителя по ремонту и реконструкции зданий и сооружений. – СПб. : Петербургская книга, 2020. – 420 с.

3. Орлов А.Ю. Основы теории расчета строительных конструкций с применением композитных материалов. – Новосибирск : Наука, 2021. – 256 с.

4. Панченко С.А. Композиционные материалы в строительстве : учебное пособие. – Екатеринбург : УрГУПС, 2022. – 192 с.

5. Щеголев И.К. Архитектурная реконструкция и реставрация зданий и сооружений. – Саратов : Саратовский университет, 2023. – 312 с.

6. Казаков Ю.О. Теория и практика применения композитных материалов в строительстве. – Ростов н/Д : Феникс, 2024. – 288 с.

7. Абрамов В.Л. Совершенствование методов расчета и конструирования строительных конструкций. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2025. – 240 с.

8. Савин Н.С., Леонова А.Н. Особенности применения лент из углеродных волокон для увеличения несущей способности конструкций // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 2. – С. 158–161.

9. Коновалова О.А. Современные технологии реконструкции и усиления строительных конструкций. – Воронеж : Научная книга, 2025. – 224 с.

10. Андреев С.И. Применение композитных материалов в строительстве: учеб.-метод. пособие. – Нижний Новгород : Нижегородский государственный университет, 2024. – 160 с.

11. Борисов Д.Р. Усиление строительных конструкций: справочное руководство. – Тверь : Тверской гос. ун-т, 2023. – 304 с.

12. Черная А.А., Антонов В.В., Леонова А.Н. Усиление строительных конструкций с помощью углеродных и композиционных материалов // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2026. – № 1. – С. 199–214.

УДК 69.07

ОСОБЕННОСТИ УСИЛЕНИЯ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ С ДЕФЕКТАМИ БЕТОНА И КОРРОЗИЕЙ АРМАТУРЫ КОМПОЗИТНЫМ МАТЕРИАЛОМ

Липчанский Максим Игоревич[1], Коник Анна Юрьевна[2], Кайшева Виктория Александровна[3]

[1]ООО «Композитные технологии – строительные системы», m.lipchanskiy@rosatom-composites.ru,

[2,3]Кубанский государственный технологический университет, [2]yurevna-nyuta@bk.ru, [3]k_viktoriya3004@mail.ru

****

Аннотация. В статье рассматриваются особенности применения композитных систем для усиления поврежденных плит перекрытия с учетом их дефектов и коррозионных повреждений, а

также практические примеры и перспективы развития этой технологии.

За время эксплуатации под воздействием внешних факторов, технологических ошибок и возраста конструкций происходит их деградация: возникают дефекты бетона, развивается коррозия арматуры, ухудшается несущая способность. В результате возрастает риск аварийных ситуаций, что требует проведения ремонтных и усилительных мероприятий.

Традиционные методы восстановления, такие как ремонт трещин, замена поврежденных участков или нанесение защитных покрытий, не всегда обеспечивают необходимые показатели долговечности и надежности. В современных условиях особое распространение получили технологии усиления с использованием композитных материалов, благодаря своим уникальным свойствам – высокой прочности, легкости и стойкости к коррозии.

Ключевые слова: усиление плит перекрытий, дефекты бетона, коррозия арматуры, композитные материалы, углеродные ленты, восстановление железобетонных конструкций, армирование бетона, долговечность конструкций.

В современном строительстве и эксплуатации зданий одной из актуальных задач является обеспечение надежности и долговечности железобетонных конструкций. Особое внимание уделяется плитам перекрытий, так как они воспринимают значительные эксплуатационные нагрузки и напрямую влияют на безопасность зданий. В процессе длительной эксплуатации под воздействием агрессивной среды, переменных нагрузок и технологических нарушений происходит снижение эксплуатационных характеристик конструкций. Это проявляется в образовании трещин, разрушении защитного слоя бетона и развитии коррозии арматуры.

В связи с этим возникает необходимость разработки и внедрения эффективных методов восстановления и усиления железобетонных элементов. Одним из наиболее перспективных направлений является применение композитных материалов, обладающих высокой прочностью, малым весом и устойчивостью к коррозии

Целью данной статьи является анализ особенностей усиления плит перекрытий с дефектами бетона и коррозией армату-

ры с применением композитных материалов, а также оценка эффективности данных технологий и условий их применения.

Причины возникновения дефектов бетона и коррозии арматуры

- Внутренние факторы:

– Некачественные материалы и технологические ошибки: использование низкокачественного цемента, неправильное соотношение компонентов, нарушение технологии укладки бетона и его уплотнения [3].

– Неправильное армирование: недостаточное количество арматуры, неправильное расположение или фиксация арматурных стержней, что снижает прочность конструкции [3].

– Недостаточная защита бетона: отсутствие или неправильное нанесение защитных покрытий, что ускоряет проникновение влаги и агрессивных веществ [1].

- Эксплуатационные факторы:

– Воздействие агрессивных сред: воздействие химических веществ, соли, влаги, кислорода, что способствует развитию коррозии арматуры [1].

– Механические нагрузки: циклические нагрузки, вибрации, динамические воздействия, вызывающие трещинообразование [2].

– Изменение температурных режимов: циклы замораживания и оттаивания вызывают расширение и сжатие бетона, что приводит к образованию трещин и отслаиванию защитного слоя [3].

- Влияние возраста и Деградации

Со временем бетон теряет свои первоначальные свойства – пористость увеличивается, происходит усадка, а арматура под воздействием влаги и кислорода корродирует, что существенно снижает прочность и долговечность.

Виды дефектов, возникающих в железобетоне:

– Микротрещины и трещины с раскрытием до 0,3 мм.

– Большие трещины с раскрытием более 0,3 мм.

– Отслоения и отслаивание защитных слоев бетона.

– Разрушения и выбоины в бетоне.

– Коррозия арматуры – образование ржавчины, расширение и разрушение металлических элементов.

Современные методы восстановления и усиления конструкций:

1. Ремонт трещин: заделка трещин с помощью цементных и полимерных смесей [6].

2. Герметизация и защита поверхности: нанесение гидроизоляционных и антикоррозийных покрытий.

3. Инъекционные работы: заполнение трещин и пустот специальными составами.

4. Замена поврежденных участков: демонтаж и монтаж новых элементов.

Однако эти методы зачастую не обеспечивают достаточную долговечность и сопротивляемость дальнейшему развитию дефектов.

Современные технологии предполагают применение систем на основе углеродных волокон (FibArmTape), пропитанных эпоксидными связующими (FibArmResin). Эти материалы обладают рядом преимуществ:

- Высокой прочностью на растяжение и сжатие [4].
- Малой массой, не нагружающей конструкцию.
- Высокой коррозионной стойкостью.
- Хорошей адгезией к бетону и арматуре.
- Возможностью ремонта даже сильно поврежденных элементов.

Преимущества применения композитных материалов для усиления плит перекрытий [6].

Опыт последних десятилетий показывает, что традиционные методы усиления (наращивание сечений, устройство металлических обойм) часто уступают место технологиям на основе волокнистых композитов [1, 2].

Применение углеволокна для ремонта плит перекрытий дает ряд критических преимуществ:

– Высокая механическая прочность и жесткость. Углеродные ленты и холсты обладают временным сопротивлением разрыву, в 5–7 раз превышающим прочность обычной стали, при этом их модуль упругости сопоставим с модулем упругости стали или превосходит его [1]. Это позволяет существенно увеличить несущую способность плиты на изгиб без увеличения ее собственного веса.

– Малый вес. Композитные системы практически не добавляют массы конструкции (в отличие от бетонных рубашек или стальных балок), что исключает необходимость усиления нижележащих колонн и фундаментов [2].

– Абсолютная коррозионная стойкость. В отличие от стальной арматуры, углеродное волокно не подвержено электрохимической коррозии, что критически важно при эксплуатации в условиях агрессивных сред, повышенной влажности или при воздействии противогололедных реагентов [4].

– Технологичность и простота монтажа. Материалы поставляются в рулонах, что позволяет транспортировать их на объект даже в стесненных условиях городской застройки. Работы могут вестись без остановки эксплуатации здания, так как отсутствуют «мокрые» процессы и вибронагрузки [1].

– Сохранение геометрии помещений. Усиление выполняется по существующей поверхности, не уменьшая полезный объем помещений и не требуя подрезки дверных проемов или изменения инженерных коммуникаций [5].

Ограничения и требования

Несмотря на высокую эффективность, применение композитных систем регламентируется строгими правилами, нарушение которых сводит к нулю все преимущества [5]:

1. Тщательная подготовка поверхности. Прочность сцепления композита с бетоном (адгезия) зависит от качества основания. Бетон должен быть прочным, обеспыленным, выровненным, с заполненными смолами раковинами. Недопустимо наличие слабых слоев или масляных пятен [1].

2. Температурно-влажностный режим. Нанесение эпоксидных связующих требует строгого соблюдения температурного режима (обычно не ниже +10 °С) и отсутствия конденсата, иначе полимеризация не произойдет должным образом [8].

3. Квалификация персонала. Необходим строгий контроль качества на каждом этапе: от раскроя ленты до пропитки и прикатки валиком для удаления пузырьков воздуха [4].

4. Огнезащита. Эпоксидные смолы горючи. В зданиях с повышенными требованиями к пожарной безопасности требуется последующее нанесение огнезащитных покрытий или штукатурок [5].

Выбор схемы усиления зависит от напряженно-деформированного состояния плиты и характера дефектов [2]:

1. Общее армирование (сплошное). Применяется при необходимости увеличить несущую способность перекрытия в целом (например, при смене назначения здания или увеличении нагрузок). Углеродные ленты наклеиваются в растянутой зоне плиты с определенным шагом по всей площади.

2. Локальное армирование. Используется при наличии локальных дефектов: трещин, сколов, местных прогибов. Ленты наклеиваются перпендикулярно направлению трещин, "сшивая" их и препятствуя дальнейшему раскрытию [2].

3. Комбинированные методы. Наиболее эффективный подход, при котором на фоне общего усиления дополнительно устанавливаются усиливающие элементы (например, П-образные хомуты) в зонах действия максимальных поперечных сил (у опор) или в местах стыковки лент.

Практические примеры реализации технологий представлены на рисунках 1, 2 и 3.



Рисунок 1 – Усиление монолитных плит в Краснодаре

В 2021 году на объекте по адресу ул. Селезнева, 132, выполнены работы по усилению поврежденных участков плит перекрытия. Использовалась система FibArm с углеродными лентами FibArmTape 530/300 и эпоксидным составом FibArmResin 530+. Общая площадь укрепленных участков – 250 м². В результате удалось повысить несущую способность, снизить вероятность дальнейших дефектов и обеспечить безопасность эксплуатации [5].



Рисунок 2 – Усиление конструкций в Москве (Рязанский проспект, 2)

В 2020 году выполнена комплексная реконструкция с применением углеродных лент FibArmTape 530/300. Участки с трещинами и разрушениями были зафиксированы и усилены, что увеличило грузовую устойчивость и продлило срок службы конструкции.



Рисунок 3 – Усиление перекрытий в торговом центре BILLA, Москва

В 2019 году выполнен ремонт и усиление перекрытий с применением современных композитных систем. Были устранены дефекты бетона и коррозия арматуры, что позволило обеспечить безопасную эксплуатацию на долгий срок [2].

Использование современных композитных систем при усилении строительных конструкций обладает следующими преимуществами [6–10]:

– Долговечность – срок службы усиленных элементов значительно превосходит традиционные методы.

– Экономическая эффективность – сокращение времени работ и снижение затрат на материалы и оплату труда.

– Минимизация нагрузок – возможность усиления без значительных демонтажных работ.

– Широкий спектр применения – укрепление трещин, восстановление разрушенных участков, увеличение несущей способности.

В результате проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

– дефекты бетона и коррозия арматуры являются основными факторами, снижающими несущую способность и долговечность плит перекрытий;

– традиционные методы усиления не всегда обеспечивают требуемую надежность и срок службы конструкций, особенно в условиях агрессивной эксплуатации;

– применение композитных материалов, в частности углеродных лент, позволяет эффективно повысить несущую способность конструкций без значительного увеличения их массы;

– высокая прочность, коррозионная стойкость и технологичность композитных систем делают их одним из наиболее перспективных решений для усиления железобетонных конструкций;

– эффективность применения композитных материалов напрямую зависит от качества подготовки поверхности, соблюдения технологии монтажа и правильного выбора схемы усиления;

– перспективы развития технологии связаны с совершенствованием материалов, расширением нормативной базы и накоплением практического опыта применения.

Список литературы

1. Гусев В.В., Иванов А.П., Сидоров А.А. Композитные материалы в строительстве: технологии и применение. – М. : Стройинформ, 2018. – 312 с.

2. Иванов А.П. Усиление железобетонных конструкций с помощью углеродных лент // Журнал строительной науки. – 2020. – № 5(2). – С. 45–52.

3. Петров Ю.В. Методы восстановления бетонных конструкций. – М. : Наука, 2019. – 240 с.

4. Федеральные нормы и правила по промышленной безопасности и строительству (ФНП), 2021.

5. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.

6. СП 164.1325800.2018. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами.

7. Лебедев В.М. Коррозия арматуры в железобетонных конструкциях и методы защиты. – М. : АСВ, 2017. – 256 с.

8. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М. : АСВ, 2016. – 528 с.

9. Соколов Б.А. Ремонт и усиление строительных конструкций. – М. : Высшая школа, 2015. – 320 с.

10. Методические рекомендации по применению композиционных материалов для усиления строительных конструкций. – М. : НИЦ Строительство, 2020.

УДК 69.059

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ЗА СЧЕТ МОДЕРНИЗАЦИИ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Мясникова Елизавета Романовна

Кубанский государственный технологический университет,

masnikovae218@gmail.com

****

Аннотация. Рассмотрены светопрозрачные конструкции как ключевой элемент повышения энергоэффективности при реконструкции жилых зданий. Выполнен анализ типов оконных заполнений, применяемых в жилом фонде различного периода постройки. Оценено влияние модернизации окон на теплозащиту, воздухопроницаемость и инсоляционный режим помещений. Вы-

явлены основные технические и экономические барьеры внедрения современных светопрозрачных систем в условиях сложившейся застройки. Обозначены условия рационального применения энергоэффективных окон в программах капитального ремонта и реконструкции.

Ключевые слова: реконструкция зданий, энергоэффективность, светопрозрачные конструкции, стеклопакеты, теплозащита зданий

Современная политика в области городского строительства все больше смещает акцент с нового строительства на сохранение и модернизацию существующего жилого фонда. В российских городах значительную долю застройки составляют здания, возведенные в середине XX – начале XXI века, эксплуатационные характеристики которых перестали соответствовать современным требованиям энергоэффективности и комфорта. По данным энергетических обследований, потери тепла через ограждающие конструкции в таких зданиях достигают 40–50 % от общих теплопотерь, при этом до 30–40 % приходится на светопрозрачные конструкции – окна и балконные двери [1].

Анализ международного и отечественного опыта показывает, что окна нового поколения, оснащенные многокамерными стеклопакетами с селективными покрытиями и профильными системами с терморазрывом, позволяют в разы снизить теплопотери, одновременно решая задачи защиты от перегрева и акустического комфорта [2].

Светопрозрачные конструкции представляют собой сложные инженерные системы, включающие профиль (рама и створка), остекление (стеклопакет), фурнитуру, уплотнители и элементы монтажа. В зависимости от конструктивного исполнения и используемых материалов они существенно различаются по теплозащитным, звукоизоляционным и эксплуатационным характеристикам.

Классификация современных оконных систем включает следующие основные типы:

1. По материалу профиля: деревянные (традиционные и клееные), ПВХ, алюминиевые, композитные. Для реконструкции

исторических зданий часто применяются деревянные окна с высокими теплозащитными показателями, для массового жилого фонда – системы из ПВХ и алюминия с терморазрывом.

2. По типу остекления: одинарное, двойное, многокамерные стеклопакеты (двухкамерные, трехкамерные).

3. По способу открывания: глухие, поворотные, поворотно-откидные, раздвижные системы. Выбор определяется условиями эксплуатации и требованиями к воздухообмену.

Ключевые технологические направления, определяющие энергоэффективность светопрозрачных конструкций при реконструкции:

1. Снижение теплопотерь через остекление. Сопротивление теплопередаче традиционного одинарного остекления составляет около 0,17 м²·°С/Вт, что в 10 раз ниже нормативных требований, предъявляемых к ограждающим конструкциям. Двухкамерный стеклопакет с двумя низкоэмиссионными покрытиями и заполнением аргоном обеспечивает приведенное сопротивление теплопередаче до 0,8–1,0 м²·°С/Вт, трехкамерный – до 1,2–1,5 м²·°С/Вт [3]. Таким образом, замена старых окон позволяет снизить теплопотери через светопрозрачную часть фасада в 5–8 раз.

2. Минимизация теплопотерь через профиль и примыкания. В старых деревянных окнах профиль является источником дополнительных потерь тепла из-за низкой термоизоляции материала и наличия щелей. Современные профильные системы оснащаются многокамерной структурой и терморазрывами – вставками из материалов с низкой теплопроводностью. Особое внимание при монтаже уделяется зоне примыкания окна к стене (монтажный шов), где потери тепла могут достигать 20–30 % от общих потерь через окно [4]. Применение монтажных систем с предварительным сжатием (ПСУЛ), пароизоляционных и теплоизоляционных лент позволяет обеспечить требуемую герметичность и исключить промерзание откосов.

3. Регулирование инсоляции и защита от перегрева. Для зданий старой застройки характерна недостаточная защита от перегрева в летний период. Светопрозрачные конструкции с мультифункциональными покрытиями, селективными стеклами (солнцезащитными) и встроенными жалюзи позволяют снизить

поступление солнечной радиации без ухудшения светопропускания. Коэффициент пропускания солнечной энергии (g-фактор) для таких стекол может составлять 0,3–0,4 против 0,7–0,8 у обычного стекла, что снижает нагрузку на системы кондиционирования до 20–30 % [2].

4. Контроль воздухообмена и борьба с конденсатом. Старые окна характеризуются высокой неорганизованной воздухопроницаемостью (инфильтрацией), которая зимой приводит к дополнительным теплопотерям, а летом – к проникновению пыли и шума. Герметичные современные окна полностью исключают неконтролируемую инфильтрацию, но при этом требуют организации управляемой вентиляции, так как естественная вытяжка может стать недостаточной. Решением является установка приточных клапанов в оконной раме или в стене, которые обеспечивают нормируемый воздухообмен без открывания створок и исключают образование конденсата и плесени на откосах.

Основное ограничение связано с сохранением архитектурного облика зданий, особенно в исторических районах и для объектов культурного наследия. В таких случаях замена оконных заполнений должна выполняться с сохранением рисунка переплетов, цветового решения и материала профиля. Допускается использование деревянных или металлических окон с терморазрывом, имитирующих исторический облик, но имеющих современные теплозащитные характеристики.

Второе ограничение касается несущей способности стеновых проемов. Установка многокамерных стеклопакетов большой массы (до 60–80 кг на створку) требует проверки прочности простенков и надежности крепления. В зданиях старой застройки с ослабленной кирпичной кладкой или крупноблочными стенами может потребоваться дополнительное усиление проемов металлическими обоймами или установка опорных рам.

Особое внимание уделяется монтажным узлам. В старых зданиях геометрия проемов часто имеет отклонения, что требует тщательной подготовки (выравнивание четвертей, восстановление штукатурного слоя). Глубина опирания оконного блока должна составлять не менее 80–100 мм, а монтажные зазоры заполняться согласно требованиям ГОСТ 30971-2012 «Швы мон-

тажные узлов примыкания оконных блоков к стеновым проемам». Несоблюдение технологии монтажа сводит к нулю преимущества дорогостоящих окон.

Капитальные затраты на замену окон в многоквартирном доме составляют значительную часть бюджета реконструкции. Стоимость энергоэффективного окна с двухкамерным стеклопакетом и терморазрывом в профиле на 30–50 % выше стоимости стандартного остекления, а использование деревянных конструкций со стеклопакетами может превышать стоимость ПВХ-аналогов в 2–3 раза. Однако для объективной оценки эффективности необходим расчет полных затрат жизненного цикла.

Окупаемость инвестиций в модернизацию окон складывается из следующих составляющих:

1. Экономия на отоплении. Снижение теплопотерь через окна при реконструкции многоквартирного дома может составлять от 20 до 35 % от общедомового потребления тепловой энергии. По данным энергоаудита, замена старых окон на современные в средней полосе России обеспечивает годовую экономию тепловой энергии до 50–70 кВт·ч/м² площади помещения, что при текущих тарифах дает срок окупаемости 5–8 лет для ПВХ-конструкций и 10–12 лет для деревянных энергоэффективных систем [5].

2. Экономия на кондиционировании. Снижение теплопоступлений от солнечной радиации за счет применения мультифункциональных стекол уменьшает эксплуатационные расходы на кондиционирование в летний период на 20–30 % по сравнению с обычными стеклопакетами. В южных регионах этот эффект сопоставим с экономией на отоплении[6].

3. Сокращение затрат на текущий ремонт. Современные оконные системы имеют срок службы 40–50 лет против 15–20 лет у традиционных деревянных окон. За этот период исключаются расходы на ежегодную конопатку, окраску и замену уплотнителей. Дополнительно снижаются затраты на уборку и обслуживание за счет использования самоочищающихся стекол и доступных для ухода конструкций.

Проведенный анализ показывает, что модернизация светопрозрачных конструкций является одним из наиболее эффективных и технологически отработанных направлений повышения

энергоэффективности при реконструкции жилых зданий. В отличие от утепления фасадов или замены инженерных систем, замена окон позволяет получить быстрый и ощутимый эффект с минимальным вмешательством в конструктивную схему здания[7].

Особое внимание при проектировании реконструкции следует уделять комплексному подходу: замена окон должна сопровождаться проверкой состояния вентиляционных каналов, при необходимости – устройством приточной вентиляции с механическим побуждением и рекуперацией тепла. Только в этом случае достигается заявленный уровень энергоэффективности и обеспечивается комфортный микроклимат помещений.

Список литературы

1. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2021. – 240 с.

2. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Теплозащита и энергосбережение в строительстве // Строительные материалы. – 2020. – № 3. – С. 4–9.

3. Калкан С.Н., Леонова А.Н. Особенности современных подходов при реконструкции фасадов жилых зданий // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 1. – С. 314–316.

4. Коркина Е.В., Мусатов И.В. Повышение энергоэффективности жилых зданий при капитальном ремонте // Жилищное строительство. – 2022. – № 1. – С. 32–37.

5. Иванов А.С., Петрова Н.А. Особенности монтажа оконных блоков при реконструкции зданий старой застройки // Строительная механика и расчет сооружений. – 2023. – № 4. – С. 45–51.

6. Смирнов В.П., Кузнецова Е.А. Технико-экономическое обоснование применения энергоэффективных окон при реконструкции жилых домов // Энергосбережение. – 2021. – № 6. – С. 28–34.

7. Леонова А.Н., Самаркина Е.А., Тарасенко П.Д. Энергоэффективные фасадные системы // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2021. – № 4. – С. 125–130.

УДК 69.07

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Олейникова Ирина Дмитриевна

Кубанский государственный технологический университет,

студент, oleynikova.irina.7@mail.ru

****

Аннотация. Данная статья подробно рассматривает проблему применения трех наиболее распространенных методов усиления строительных конструкций – железобетонных колон зданий и сооружений. Методы, представленные в настоящей статье, представляют собой применение железобетонных, стальных обойм и натянутых холстов из углеволокна для восстановления строительных конструкций и поддержания их работоспособности в течении длительного времени при эксплуатации.

В статье представлены положительные и отрицательные стороны рассматриваемых методов усиления строительных конструкций и их элементов. Сделан вывод об эффективности и экономичности методов

Ключевые слова: колонны, железобетон, несущая способность, нагрузка, обойма, арматура, бетон, углеволокно, стальные конструкции, работоспособность, усиление, металлопрокат.

Железобетонные строительные конструкции наиболее распространены при строительстве производственных и промышленных зданий и сооружений. В настоящее время существуют два типа железобетонных конструкций: монолитные и сборные.

Применение при строительстве зданий и сооружений железобетонных конструкций позволяет возвести прочные и долговечные объекты, которые будут не только успешно противостоять различного рода нагрузкам и воздействиям, но и будут долговечными при эксплуатации. Также стоит учесть возможность унификации и типизации строительных конструкций и проект-

ных решений для объектов, что существенно облегчает этапы проектирования, монтажа и строительства [1].

Данное проектное решение имеет множество положительных сторон:

– прочность;
– наличие большой пространственной жесткости;
– долговечность;
– экономичность;
– удобство при проектировании.

Однако существуют также и отрицательные стороны применения железобетонных строительных конструкций при строительстве, например, неудобство при монтаже, который требует больших трудозатрат, хрупкость конструкций. Чаще всего наиболее хрупкой частью железобетонных конструкций являются защитные слои бетона, которые могут отколоться при небольшом механическом воздействии на конструкцию (рис. 1).



Рисунок 1 – Повреждение защитного стоя бетона железобетонной колонны

При эксплуатации производственных зданий и сооружений, построенных из железобетонных конструкций, нередко возникают различного рода и происхождения факторы, которые непо-

средственно влияют на износостойкость, долговечность и надежность применяемых при строительстве строительных конструкций. В таких случаях, для восстановления несущей способности конструкций применяют проектные и монтажные решения по их усилению [2]. Рассмотрим три наиболее развитых и распространенных метода усиления строительных конструкций.

Первый из рассматриваемых методов усиления – **устройство железобетонных обойм**, которые монтируют на имеющий дефект элемент конструкции.

Распространение такого метода усиления строительных конструкций в первую очередь обусловлено экономической выгодой. Себестоимость строительных материалов, применяемых в этом методе, ниже, чем в других методах. В сравнении с методом усиления строительных конструкций посредством применения металлической обоймы или методом усиления конструкций углепластиком, метод применения железобетонной обоймы дешевле в несколько раз [3].

Технология производства работ по усилению строительных конструкций железобетонной обоймой на примере реконструкции железобетонной колонны включает в себя следующие этапы:

– Расчет несущей способности колонны с учетом всех, приложенных к ней нагрузок.

– Подбор сечения арматуры, применяемого для наращивания обоймы вокруг колонны.

– Подбор посредством расчета толщины защитного бетонного слоя вокруг арматуры железобетонной обоймы.

– Непосредственное проведение работ по усилению конструкции.

– Скалывание защитного слоя бетона усиливаемой колонны не менее, чем на 0,5 диаметра арматуры, принятой при первоначальном строительстве конструкции.

– Устройство продольных и поперечных стержней арматуры. Вязка каркаса обоймы и его монтаж к конструкциям. При монтаже каркаса применяют стальные уголки и болты (рисунок 2).

– Устройство соединительных стержней, изготовленных из арматуры Ø10–40мм и имеющих длину от 50 до 200 мм. Данные соединительные стержни монтируют посредством применения

сварки к новым стержням обоймы и существующей арматуре колонны.

– Устройство вертикальной опалубки вокруг арматурного каркаса.

– Заливка бетонной смеси в установленную опалубку.

– Снятие опалубки после набора достаточной прочности бетонной смеси.



Рисунок 2 – Устройство каркаса железобетонной обоймы усиливаемой колонны

При проведении работ по усилению строительных конструкций посредством применения железобетонной обоймы нередко появляется необходимость применения временного усиления соседних конструкций на время проведения ремонтных работ. Зачастую временное усиление требуется для плит перекрытия и ригелей при реконструкции железобетонных колонн [4].

Рассматриваемый тип усиления позволяет увеличить прочность и жесткость железобетонной конструкции, а также позволяет создать ровные поверхности на строительных конструкциях, которые после могут эргономично вписаться в общий интерьер ремонтируемого здания или сооружения.

Второй рассматриваемый в настоящей статье метод усиления – **устройство обойм из металлических элементов**. Обоймы из металлоконструкций также часто применяются для проведения реконструкций зданий и усиления строительных конструкций и их отдельных элементов.

Главной положительной характеристикой рассматриваемого метода являются низкая трудоемкость и быстрота проведения ремонтных работ. Металлические обоймы не требуют монтажа опалубки и времени на застывание бетонной смеси, а значит могут выполнять свою задачу сразу после монтажа.

Главным отличием рассматриваемого метода усиления от метода устройства железобетонной обоймы является то, что металлическая обойма проектируется таким образом, что переносит часть нагрузок, воздействующих на железобетонную колонну на саму себя, тем самым частично разгружая конструкцию не изменяя несущей способности самой колонны, а железобетонная обойма наращивается на существующую колонну, увеличивая ее сечения, и таким образом повышает несущую способность конструкции. Усиление железобетонных колонн металлическими обоймами показано на рисунке 3.



Рисунок 3 – Устройство металлических обойм усиливаемых колонн

Технология применения метода усиления железобетонной колонны металлическими обоймами:

– Расчет несущей способности колонны с учетом всех, приложенных к ней нагрузок.

– Подбор сечения металлических элементов, применяемых для создания обоймы вокруг колонны.

– Монтаж продольных элементов металлической обоймы к колонне посредством применения дополнительных закладных деталей, болтов и сварки.

– Монтаж поперечных элементов металлической обоймы к продольным элементам посредством применения сварки.

У металлических обойм усиления конструкций есть как достоинства, так и недостатки. Рассматриваемый метод усиления сравнительно дороже первого типа, также представленный вид усиления в значительной степени портит вешний облик конструкций, что негативно сказывается на интерьере зданий и сооружений.

Однако устройство металлических обойм является наиболее быстрым в монтаже методом усиления. Он также требует меньших трудозатрат в сравнении с устройством железобетонных обойм. Метод усиления металлическими обоймами позволят снять часть нагрузки с ремонтируемой конструкции и увеличивает ее жесткость.

Третий из рассматриваемых в настоящей статье методов усиления – **метод применения холстов из углеродного волокна (углепластика)**. Данный тип усиления также имеет ряд положительных характеристик. Рассматриваемый метод усиления позволяет существенно увеличить несущую способность строительных конструкций. Применение данного методы дает возможность увеличить прочность ремонтируемых конструкций на изгиб до 65 %, и почти в 2 раза увеличить прочность конструкций на сжатие. Усиленные углепластиком конструкции показаны на рисунке 4.

С точки зрения увеличения прочностных характеристик рассматриваемый метод является одним из наиболее эффективных. Также положительным качеством холстов из углепластика является их минимальный, по сравнению с рассмотренными ранее строительными материалами, применяемыми для усиления, вес.

Следует также отметить низкую трудоемкость ремонтных работ и быстроту их выполнения. Холсты углепластика начнут положительно воздействовать на ремонтируемую конструкцию после высыхания клеевого состава.

Недостатками метода усиления конструкций углепластиком являются высокая стоимость материалов, а также невозможность наклейки холстов на неровные поверхности строительных конструкций. Для полного прилегания наклеиваемых холстов на конструкции необходимо первоначально произвести ремонтные рабо-

ты по выравниванию поверхностей строительных конструкций, например восстановление разрушенного защитного слоя бетона. Также стоит отметить наличие некоторых трудностей при натяжении холстов до проектных значений в полевых условиях [5].



Рисунок 4 – Усиление колонн холстами из углеволокна

Технология применения метода усиления строительных конструкций углепластиком на примере усиления железобетонной колонны:

– Расчет несущей способности конструкции.
– Расчет необходимой площади холстов для усиления.
– Наклейка холстов из углеволокна на колонну в продольном направлении с натяжением.
– Наклейка холстов из углеволокна на колонну в поперечном направлении с натяжением и нахлестом (не менее 200 мм).

При проведении ремонтных работ по усилению строительных конструкций любым из вышеуказанных методов необходимо учитывать общую массу обойм и их количество. При большой массе и объеме применяемых строительных материалов, изделий и конструкций необходимы перерасчеты несущей способности фундаментов зданий и сооружений, а также колонн и перекрытий

нижележащих этажей (при проведении усиления конструкций на верхних этажах).

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод, что методы усиления строительных конструкций производственных зданий и сооружений железобетонными и металлическими обоймами или углепластиком являются одними из наиболее распространенных. Данные решения позволяют сохранить существующие строительные конструкции внутри здания.

Применение железобетонных обойм является выгодным с точки зрения экономии финансов при ремонтных работах, однако он является долгим по сравнению с другими методами усиления.

Металлические обоймы сравнительно дороже железобетонных, однако их монтаж требует меньшего времени, также данный метод является менее трудозатратным.

Усиление углепластиком является эффективным способом увеличения несущей способности конструкций, также данный метод имеет сравнительно низкий вес материалов усиления. Невысокая трудоемкость сопоставляется с трудностями монтажа, а именно натяжения холстов до проектных значений, однако это не мешает строителям производить ремонтные работы в кратчайшие сроки.

Выбирая между тремя методами усиления, каждый строитель или проектировщик должен самостоятельно определять наиболее выгодный для себя и своего проекта метод, руководствуясь нормами, правилами в строительстве и существующими условиями проведения ремонтных работ.

Список литературы

1. Авренюк Андрей. Восстановление бетонных и железобетонных конструкци. – М. : Мир, 2011. – 184 с.

2. Емельянчик А.А. О некоторых современных технологиях усиления строительных конструкций // РГОТУПС., Наука и техника транспорта. – 2006. – № 4. – С. 73–75.

3. Леонова А.Н., Бибиков Б.С. Современные методы усиления горизонтальных несущих конструкций углеволокном // В сборнике: Девелопмент и инновации в строительстве. Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. – 2020. – С. 16–21.

4. Жердеева С.А., Фигурина Е.В. Анализ напряженно деформированного состояния железобетонных конструкций при сложном напряженном состоянии // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. – 2009. – № 2. – С. 188–192.

5. Пузанков Ю.И., Хорошев А.А., Леонова А.Н. Динамические характеристики строительных материалов при сейсмических воздействиях // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2020. – № 8. – С. 671–680.

6. Применение углеродных холстов и сеток для повышения сейсмостойкости кирпичных зданий при землетрясениях / А.В. Грановкий, Б.К. Джамуев, В.С. Поляков // Вестник НИЦ «Строительство». – 2017. – № 3(14). – С. 21–42.

УДК 69.07

УСИЛЕНИЕ ПОДКРАНОВОЙ БАЛКИ

Пиронко Дарья Константиновна[1], Леонова Анна Николаевна[2]

[1,2]Кубанский государственный технологический университет,

[1]студент, d.pironko@yandex.ru,

[2]канд. техн. наук, доцент, lan_kubstu@mail.ru

****

Аннотация. В данной статье представлен последовательно разработанный в теории и закрепленный на практике метод усиления строительных конструкций. Представленная статья в полном объеме рассматривает способ усиления подкрановых балок производственного цеха действующего предприятия посредством применения стальной обоймы, воспринимающей нагрузки от строительной конструкции. Точный подбор стальных элементов конструкции усиления в полной мере может поспособствовать быстрому и наиболее экономичному ремонту. В статье также частично рассмотрены иные виды усиления строительных конструкций.

Ключевые слова:
Балка, железобетонные конструкции, усиление, распределение нагрузок, сталь, элементы усиления, каркас, строительство, ремонтные работы, обойма, стальные конструкции, подкрановая балка, реконструкция

Железобетонные строительные конструкции являются наиболее распространенными изделиями, применяемыми при строительстве промышленных зданий и сооружений. Основываясь на результатах многолетних исследований и практики применения железобетонных конструкций было накоплено большое количество научных знаний в сфере проектирования, строительства, эксплуатации и последующей реконструкции железобетонных конструкций, изделий и элементов [1].

Железобетонные конструкции имеют как достоинства, так и недостатки. Достоинствами железобетона являются: прочность, большая пространственная жесткость, долговечность.

Одним из наиболее существенных недостатков железобетонных конструкций является хрупкость защитного слоя бетона, ввиду которой при долгой эксплуатации или неправильном уходе и монтаже на поверхности строительных конструкций образуются трещины и сколы. К сожалению, полностью устранить влияние негативного силового и технологического воздействия на строительные конструкции на данном этапе развития строительства и проектирования не представляется возможным.

Трещины в железобетонных конструкциях не только уменьшают прочность и жесткость изделий и отдельных элементов, но и негативно сказываются на их долговечности и качестве.

Строителями разработаны расчеты, предназначенные именно для выявления остаточного срока службы и эксплуатации строительных конструкций. Благодаря таким расчетам проектировщики и эксперты, работающие в строительной сфере, могут определить долговечность строительных конструкций [1, 2].

При наличии факторов снижения долговечности строительной конструкции ввиду ее износа или наличия трещин и сколов возникает необходимость в проведении ремонтных работ.

Мероприятия, направленные на ремонтные работы несущих железобетонных строительных конструкций, воспринимающих

большие нагрузки, нередко требуют исключения таких конструкций и элементов из эксплуатации, что приводит к временной остановке производственных и технологических работ и является причиной простоев на объектах. Данные мероприятия неизбежно приводят к значительному увеличению показателей экономических потерь на производстве.

Нередко появляются ситуации, при которых невозможность эксплуатации несущих строительных конструкций зданий и сооружений в нормальных условиях обуславливается локальными дефектами отдельных элементов железобетонных конструкций [3].

Наличие воздействий агрессивных атмосферных сред, воздействий динамического характера и иных нерасчетных нагрузок нередко приводит к развитию дефектов в элементах строительных железобетонных конструкций, которые дробят конструкции на отдельные блоки, и способствуют появлению изменённых собственных частот конструкций и, как следствие, появлению нежелательных резонансных явлений в конструкциях.

Подкрановые балки в производственных цехах являются одними из наиболее нагружаемых строительных железобетонных конструкций, применяемых при строительстве и эксплуатации промышленных зданий и сооружений [4].

В настоящей статье рассматривается метод усиления железобетонной подкрановой балки таврового сечения, имеющей длину 6 метров и расположенной в цеху действующего предприятия, посредством применения стальной обоймы, воспринимающей на себя нагрузки.

Основным дефектом представленной железобетонной конструкции является отрыв верхней полки балки, на которой расположены рельсовые пути крана, от стойки (рис. 1).

На основании проведенного детально-инструментального обследования производственного цеха был определен следующий метод усиления строительной конструкции: применение металлической обоймы на всю поверхностную площадь подкрановой балки.

Металлическая обойма, рассматриваемая в данной статье предусмотрена не только для стягивания элементов строительных конструкций, но и для полной разгрузки существующей подкрановой балки. Представленная обойма представляет собой про-



Рисунок 1 – Подкрановая балка

странственную ферму, сечения элементов которой рассчитаны с учетом перераспределения на них нагрузок от технологического оборудования. Крайние стойки фермы опираются на существующие колонны производственного здания. Применение решения по устройству стальной обоймы показано на рисунках 2, 3.

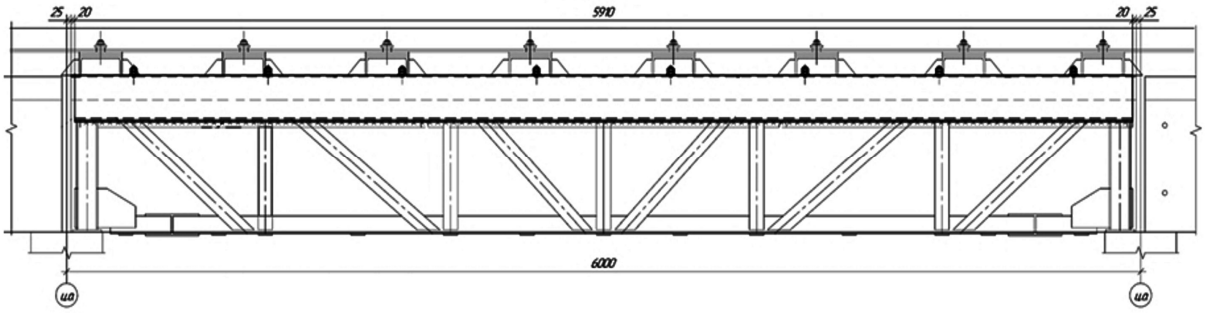


Рисунок *2* – Усиление подкрановой балки стальной обоймой (вид сбоку)

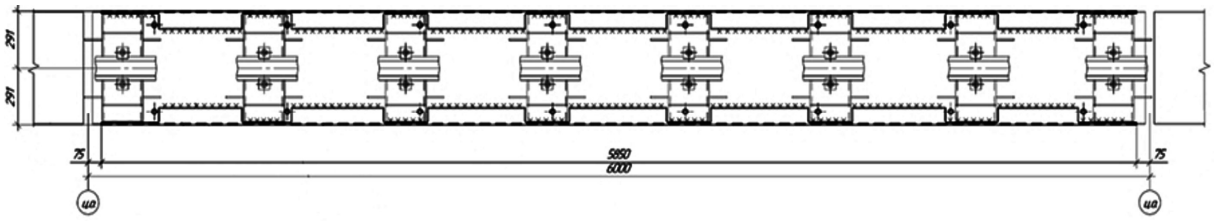


Рисунок 3 – Усиление подкрановой балки стальной обоймой (вид сверху)

Также при проведении работ по усилению подкрановой балки необходимо предусмотреть заделку трещин ремонтными растворами между элементами конструкции. Схема заделки трещин и устройство обоймы показаны на рисунке 4.

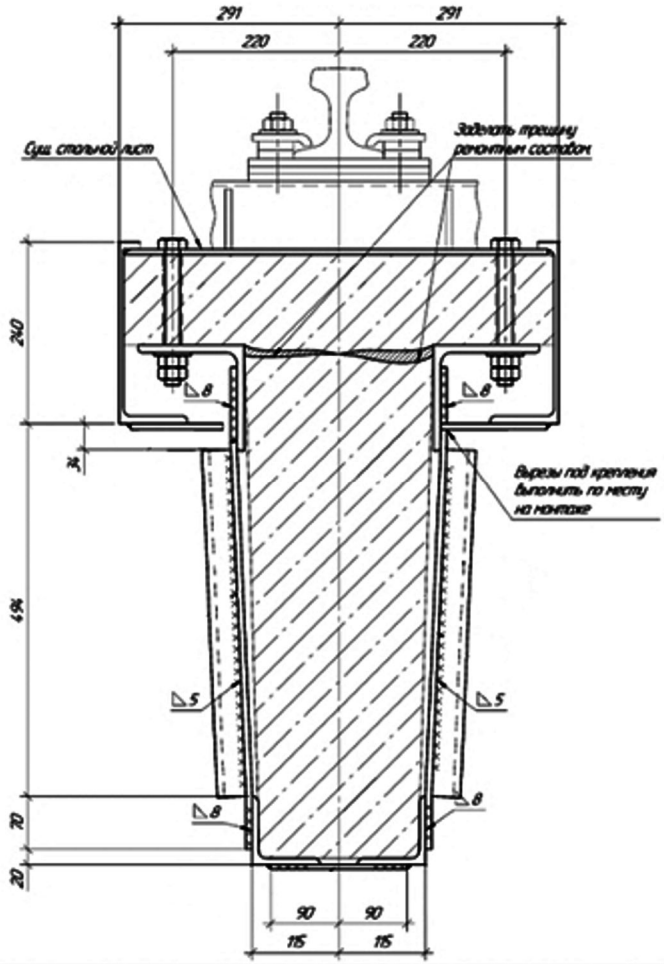


Рисунок 4 – Схема заделки трещин и устройство обоймы подкрановой балки

Каркас металлической обоймы предусмотрен из стальных горячекатаных равнополочных уголков, сечениями 50х5, 90х8, 140х10мм по ГОСТ 27772-2021, стальных горячекатаных швеллеров № 12П и № 24П по ГОСТ 8240-97, горячекатаным листовым металлопрокатом, толщиной 6, 8, 12 мм по ГОСТ 19903-2015. Общая масса обоймы подкрановой балки, согласно расчетам, не превышает 1 тонны.

Последовательность выполнения работ по усилению подкрановой балки:

1. Снятие нагрузки с подкрановой балки (отвод мостовых грузоподъемных кранов с балки), приостановка работы кранов на время проведения ремонта.

2. Очистка трещин от пыли и грязи.

3. Инъектирование трещин ремонтными растворами (двухкомпонентной эпоксидной системой).

4. После завершения процесса полимеризации ремонтного состава выполнить работы по устройству разгружающей системы усиления подкрановой балки:

– установить элементы стоек и раскосов по бокам подкрановой балки, выполненных из листового металлопроката, в проектное положение и закрепить с помощью болтового соединения к верхнему поясу;

– установить равнополочные уголки с сечением 50х5 к нижнему поясу балки, закрепить струбцинами;

– соединить установленные равнополочные уголки сваркой со стойками и раскосами по нижнему поясу подкрановой балки;

– смонтировать равнополочные уголки сечением 90х8 под полку верхнего пояса подкрановой балки. Закрепить данные элементы сваркой с вертикальными элементами пространственной фермы;

– установить швеллеры на боковые стороны полки подкрановой балки и соединить их с установленными ранее элементами сваркой.

Представленный метод усиления железобетонной подкрановой балки является одним из наиболее надежных и долговечных. Данный тип усиления является трудозатратным и сложным в монтаже. Однако при необходимости проведения ремонтных работ по усилению строительных конструкций в условиях действующего предприятия и невозможности устройства опалубки для применения иного метода усиления данный тип является наиболее эффективным.

Список литературы

1. Емельянчик А.А. О некоторых современных технологиях усиления строительных конструкций // РГОТУПС, Наука и техника транспорта. – 2006. – № 4. – С. 73–75.

2. Юсупов А.К., Муселемов Х.М., Гаппаров А.В. Влияние пролета на работу большепролетных конструкций // Вестник ДГТУ. Технические науки. – 2022. – № 49. – С. 184.

3. Жердеева С.А., Фигурина Е.В. Анализ напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций при сложном напряженном состоянии // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. – 2009. – № 2. – С. 188–192.

4. Кибирова Н.А., Леонова А.Н. Мониторинг технического состояния высотных зданий // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 4. – С. 142–146.

УДК 69.07

УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ УГЛЕВОЛОКНИСТЫМИ ХОЛСТАМИ

Святун Юлия Витальевна

Кубанский государственный технологический университет,

студент, yulya.svyatun@bk.ru

****

Аннотация. Настоящая научная статья описывает применение одного из наиболее востребованных современных методов усиления строительных железобетонных конструкций – усиления посредством применения холстов из углеволокна.

В статье рассмотрены как положительные, так и отрицательные характеристики вышеуказанного метода усиления. Детально описаны технологические процессы проведения ремонтных работ.

На основе анализа технологии усиления строительных конструкций представленным методом сформирован вывод о целесообразности применения его для реконструкции зданий и сооружений.

Ключевые слова: колонны, балки, фермы, строительные конструкции, углеволокно, ремонт, усиление, надежность, работоспособность конструкции, железобетонные конструкции.

Железобетонные строительные конструкции наиболее востребованы при строительстве промышленных зданий и сооружений в нашей стране. На основе многолетних результатов экспериментальных исследований и испытаний при применении железобетонных конструкций были накоплены научные труды и знания в сфере строительства.

Однако все строительные конструкции, не зависимо от материала их изготовления приходят в негодное состояние, ввиду влияния различных факторов таких, как время, эксплуатация, механические воздействия, динамические воздействия, воздействия агрессивных сред и т.д.

К сожалению, не все строительные конструкции можно целиком и полностью заменить аналогичными при наличии в существующих конструкциях дефектов. Зачастую замена строительной конструкции является весьма трудозатратным и экономически невыгодным процессом. При замене строительных конструкций нередко возникают ситуации, при которых необходимо применение конструкций временного усиления соседних конструкций и их элементов. В таком случае наиболее выгодным с точки зрения экономичности и трудозатрат является усиление существующих строительных конструкций, имеющих дефекты.

Учеными и строителями всего мира были разработаны множество различных видов реконструкции строительных конструкций и их элементов.

С развитием науки и смежных со строительством научных направлений разрабатываются новейшие методы усиления и реконструкции. Одним из видов усиления железобетонных конструкций является применение холстов и полотен из углеродного волокна [1].

Углеродное волокно (УВ) – материал, широко применяемый в строительной сфере. УВ состоит из нитей, образованных атомами углерода и имеющих диаметр от 3,0 до 15,0 мкм. Данное волокно имеет большую прочность на растяжение ввиду выровненным параллельно друг другу микроскопическим кристаллам, получившимся из-за объединения атомов углерода (рис. 1).

Основными положительными характеристиками углеродного волокна являются:

– высокая сила натяжения материала;
– низкий удельный вес;

– низкий коэффициент температурного расширения материала;

– химическая инертность.



Рисунок 1 – Полотна их углеродного волокна

История развития производства представленного материала начинается конца 50-х, начала 60-х годов XX века. Разработкой данного материала были заинтересованы сразу несколько стран – США, СССР и Япония. Первоначальные исследования, направленные на развитие ракетной и авиационной отрасли, стали основополагающими для развития и создания новых строительных материалов и изделий в строительной промышленности.

Применение холстов при усилении строительных железобетонных конструкций является одним из наиболее эффективных. Высокая прочность нитей и исключительная адгезия наполнителей-полимеров при применении данного материала при усилении строительных конструкций дает положительный эффект: увеличивается прочность строительных конструкций на изгиб до 65 %, также почти в два раза увеличивается прочность конструкций на сжатие (с 280 кН до 520 кН) [2].

Применение данного типа усиления строительных конструкций в основном ограничено зданиями и сооружениями, расположенными на сейсмически нестабильных территориях.

Технология усиления строительных конструкций посредством применения холстов из углеволокна (на примере усиления железобетонной колонны квадратного и круглого сечения):

1. Устройство (наклейка) холстов из углеволокна происходит в поперечном направлении или комбинируется поперечное и продольное направления.

2. Перед проведением усиления строительной конструкции производят расчеты представленной конструкции и расчет требуемой площади холста. Расчет площади производят по следующей формуле:

$$A_f = \frac{R_f \cdot E_f}{R_S \cdot E_S} A_{S,def}, \quad (1)$$

где R_f – нормативная прочность на растяжение материала холста; E_f – модуль упругости материала холста; R_s – расчетная прочность стержневой арматуры на растяжение; E_s – модуль упругости стержневой арматуры; $A_{s,def}$ – недостающая площадь продольной арматуры.

3. Наклейка углеволокна производится на клей, основой которого является эпоксидные смолы.

4. Первоначально (при комбинированном типе усиления) производят наклейку холстов в продольном направлении строительной конструкции (рис. 2).

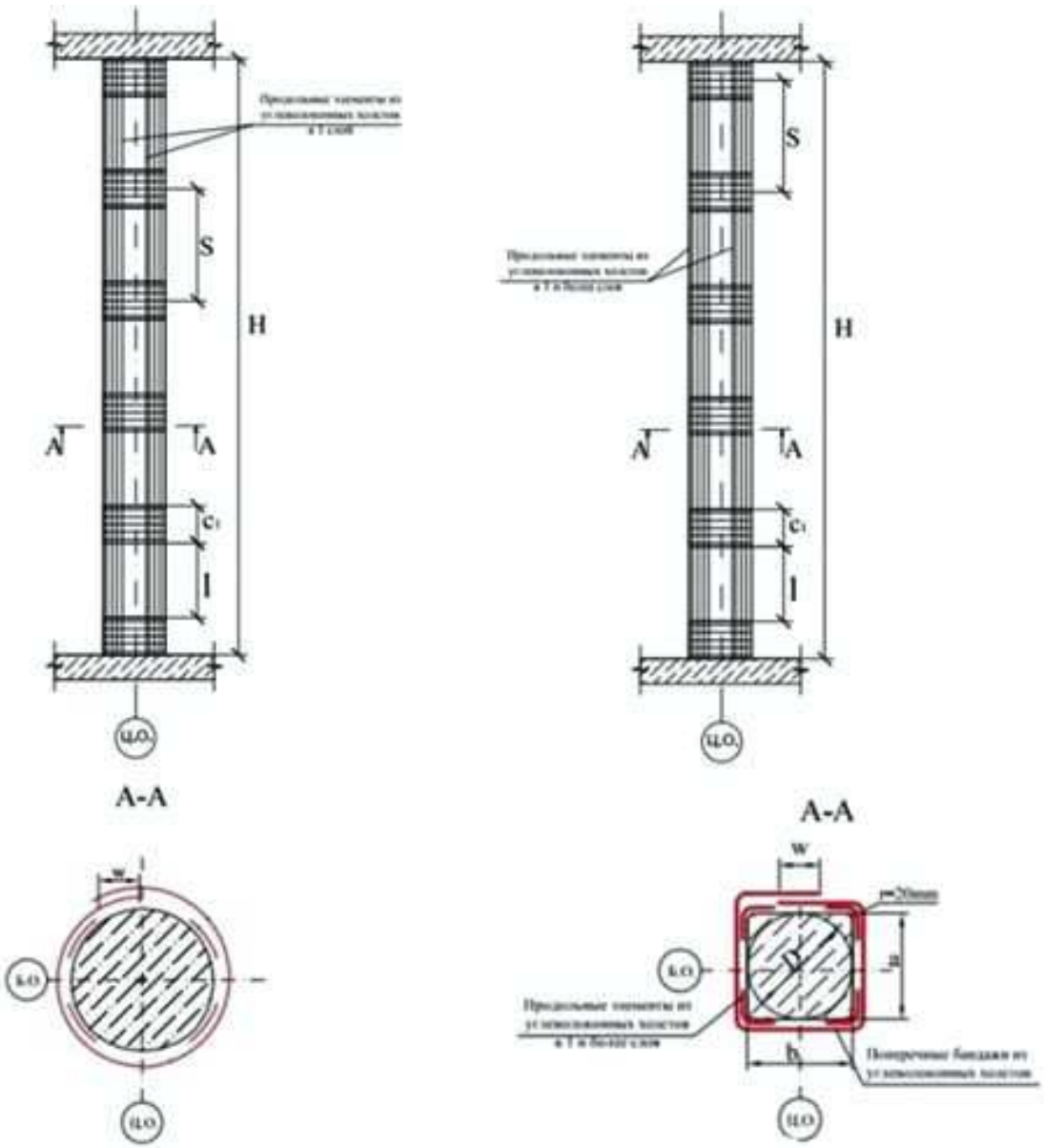
5. После производят наклейку поперечных холстов к конструкции с расчетным шагом.

6. При наклейке холстов поперечного направления следует производить наклейку внахлест. Нахлест холста должен быть не менее 200мм (рис. 2).

Данный тип усиления конструкций не только позволяет повысить прочностные показатели и характеристики строительных железобетонных конструкций, но и имеет сравнительно малый вес в сравнении с железобетонными или стальными обоймами усиления конструкций [3].

Однако существует также и недостаток данного типа усиления – необходимость гладких и ровных поверхностей дефектных конструкций. Холсты не способны заполнить собой трещины или сколы конструкций.

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод, что представленный в данной статье метод усиления строительных железобетонных конструкций является одним из наиболее эффективных и экономически выгодных при проведении реконструкции.



а) б)

Рисунок 2 – Усиление колонн холстами из углеволокна:
а – усиление колонны круглого сечения; б – усиление колонны квадратного сечения

Список литературы

1. Применение углеродных холстов и сеток для повышения сейсмостойкости кирпичных зданий при землетрясениях / А.В. Грановкий, Б.К. Джамуев, В.С. Поляков // Вестник НИЦ «Строительство». – 2017. – № 3(14). – С. 21–42.

2. Гениев Г.А., Курбанов А.С., Самедов Ф.А. Вопросы прочности и пластичности анизотропных материалов. – М. : «Интербук», 1993.

3. Медведев С.В., Карапетян Б.К., Быковский В.А. Сейсмические воздействия на здания и сооружения. – М., 1968.

4. Черная А.А., Антонов В.В., Леонова А.Н. Усиление строительных конструкций с помощью углеродных и композиционных материалов // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2026. – № 1. – С. 199–214.

5. Савин Н.С., Леонова А.Н. Особенности применения лент из углеродных волокон для увеличения несущей способности конструкций // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 2. – С. 158–161.

6. Леонова А.Н., Бибиков Б.С. Современные методы усиления горизонтальных несущих конструкций углеволокном / В сборнике: Девелопмент и инновации в строительстве. Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. – 2020. – С. 16–21.

УДК 69.07

ОСОБЕННОСТИ УСИЛЕНИЯ СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Хван Александр Дмитриевич[1], Смирнова Валерия Валерьевна[2]

[1]ООО «Композитные технологии – строительные системы», a.khvan@rosatom-composites.ru,

[2]Кубанский государственный технологический университет, valeriyasmirnjva@yandex.ru

****

Аннотация. В статье проанализированы особенности применения композитных материалов для усиления железобетонных колонн с дефектами бетона и коррозионными повреждениями арматуры. Приведены основные причины снижения несущей способности колонн, включая возрастную деградацию материа-

лов. Предложена классификация дефектов по локализации относительно расчетной схемы элемента, что позволяет обоснованно выбирать метод усиления. Проанализированы традиционные и современные методы восстановления, выявлены преимущества композитных технологий. Особое внимание уделено технологии внешнего армирования с использованием отечественной системы FibArm – первой в России системы полного цикла производства, включающей углеродные ленты, эпоксидные связующие, ремонтные составы и огнезащитные покрытия. На основе реализованных проектов различного назначения (от объектов культурного наследия до промышленных сооружений) показана эффективность композитных систем для повышения несущей способности колонн, обеспечения долговечности и сохранения геометрии конструкций без увеличения поперечного сечения. Обосновано, что определяющее значение для надежности усиления имеет соблюдение технологического регламента, включая качественную подготовку поверхности и температурно-влажностный режим.

Ключевые слова: усиление колонн, дефекты бетона, коррозия арматуры, композитные материалы, углеродные ленты, внешнее армирование, FibArm, восстановление железобетонных конструкций.

Надежность и устойчивость каркасных систем зданий и сооружений в значительной степени определяются работой колонн – ключевых несущих элементов, воспринимающих продольные усилия и изгибающие моменты. От их технического состояния зависит общая устойчивость здания и безопасность его эксплуатации.

В процессе длительной эксплуатации под воздействием агрессивных сред, циклических нагрузок, технологических ошибок, а также вследствие естественного старения материалов в колоннах развиваются дефекты: снижение прочности бетона, образование трещин, разрушение защитного слоя и коррозия арматурного каркаса [1, 3].

Традиционные методы усиления колонн – устройство металлических обойм, железобетонных рубашек или увеличение поперечного сечения – часто связаны с высокой трудоемкостью,

значительным увеличением массы конструкции и сокращением полезной площади помещений. Кроме того, они не всегда обеспечивают должную коррозионную стойкость в условиях агрессивной среды и требуют остановки эксплуатации здания на период производства работ [4].

В последние десятилетия в практике реконструкции все более широкое применение находят технологии внешнего армирования с использованием композитных материалов на основе углеродного волокна. Эти системы, такие как FibArm производства дивизиона «Композитные технологии» Госкорпорации «Росатом», позволяют эффективно повышать несущую способность колонн без увеличения их поперечного сечения, с минимальными трудозатратами и высокой долговечностью [5, 6].

Целью данной статьи является анализ особенностей усиления железобетонных колонн, имеющих дефекты бетона и коррозию арматуры, с применением отечественной системы внешнего армирования FibArm, а также оценка эффективности данной технологии на основе реализованных проектов различного назначения.

Снижение несущей способности колонн, как правило, обусловлено комплексом внутренних и внешних факторов [1, 3, 7]. К внутренним факторам относятся нарушение технологии бетонирования (недостаточное уплотнение, расслоение смеси, неправильный уход за бетоном), применение некачественных материалов (низкая марка цемента, загрязненные заполнители), а также ошибки армирования (недостаточное количество стержней, нарушение защитного слоя). Внешние факторы включают воздействие агрессивных сред (хлоридов, кислот, солей), циклические нагрузки и вибрации, приводящие к усталостным явлениям, а также перепады температур с циклами замораживания-оттаивания, вызывающими микротрещинообразование и отслаивание защитного слоя.

Отдельную группу составляют процессы возрастной деградации: со временем происходит карбонизация бетона, снижение его щелочности, что активизирует электрохимическую коррозию арматуры. Коррозионные продукты увеличиваются в объеме, создавая внутренние напряжения, которые приводят к растрескиванию и отслоению бетона [7].

В отличие от плит перекрытий, где дефекты преимущественно классифицируются по типу и ширине раскрытия, для колонн определяющее значение имеет локализация повреждений относительно расчетной схемы элемента. Это связано с тем, что колонна работает как сжатый стержень, и характер ее разрушения напрямую зависит от зоны ослабления.

По локализации дефекты колонн подразделяются на три группы:

1. Дефекты в оголовке (зона сопряжения с перекрытием или ригелем). В этой зоне возникают наибольшие контактные напряжения. Характерные проявления: трещины от местного сжатия (смятия), разрушение бетона в зоне анкеровки продольной арматуры, сколы углов. Особенность таких дефектов заключается в том, что они нарушают работу узла сопряжения, что может привести к изменению расчетной схемы всего каркаса (например, из жесткой в шарнирную). Усиление данной зоны, как правило, требует не только восстановления бетона, но и дополнительного армирования узла, часто с применением анкерных жгутов FibArm Anchor для передачи растягивающих усилий.

Для восстановления несущей способности колонн традиционно применяются [8–11]:

1) устройство железобетонной обоймы – наращивание сечения с дополнительным армированием. Недостатки: увеличение массы, снижение полезной площади, длительные «мокрые» процессы, а также риск потери устойчивости колонны при несимметричном наращивании сечения;

2) металлические обоймы – установка стальных уголков и планок. Недостатки: значительный вес, подверженность коррозии, необходимость антикоррозионной защиты;

3) Предварительное напряжение – сложность реализации, высокая трудоемкость.

Эти методы часто требуют остановки эксплуатации здания, применения грузоподъемного оборудования и не всегда обеспечивают долговременную защиту от агрессивных воздействий.

В качестве современной альтернативы выступают системы внешнего армирования на основе углеродного волокна. В России ведущим производителем таких материалов является дивизион

«Композитные технологии» Госкорпорации «Росатом», выпускающий систему FibArm, включающую [4, 5]:

– углеродные ленты (FibArm Tape 530/300 и аналоги);

– эпоксидные связующие (FibArm Resin 530+);

– ремонтные составы для подготовки поверхности (FibArm ST, FibArm EP301);

– огнезащитные покрытия (UMT FP-90).

Система FibArm является первой отечественной системой внешнего армирования полного цикла производства, имеющей техническое свидетельство Минстроя РФ и успешно заменяющей иностранные аналоги (Sika, MBCC, Mapei и др.) в условиях импортозамещения [5].

Принцип работы системы основан на наклейке высокопрочных углеродных лент по периметру колонны, что создает эффект обоймы, работающей на растяжение и ограничивающей поперечные деформации. Это позволяет увеличить несущую способность колонны по прочности (за счет повышения прочности бетона при объемном напряженном состоянии) и по устойчивости.

Преимущества композитного усиления колонн [2, 4, 6]:

1) высокая прочность – углеродные ленты имеют прочность на растяжение до 3500–4800 МПа, что в несколько раз превышает прочность стали;

2) малый вес – отсутствие дополнительной нагрузки на фундаменты и нижележащие конструкции;

3) коррозионная стойкость – углеродное волокно не подвержено электрохимической коррозии;

4) сохранение геометрии – усиление не увеличивает поперечное сечение колонны, что особенно важно в стесненных условиях реконструируемых зданий;

5) технологичность – высокая скорость монтажа, отсутствие тяжелого оборудования, возможность проведения работ поэтапно без остановки эксплуатации;

6) возможность обеспечения требуемого предела огнестойкости – система включает сертифицированное огнезащитное покрытие UMT FP-90, позволяющее достигать пределов огнестойкости до R180 [5].

Технологический процесс усиления сжатых железобетонных элементов композитными материалами включает следующие этапы:

1) обследование и расчет;
2) подготовка поверхности;
3) раскрой и пропитка углеродной ленты;
4) оклейка колонны;
5) монтаж анкерных жгутов (при необходимости);
4) выдержка и отверждение;
5) нанесение огнезащитного покрытия.

В качестве примера практической реализации описываемых решений можно привести усиление колонн административного здания в Сберсити (Московская область, 2025 г.), приведенное на рисунке 1. Именно применение анкерных жгутов в сочетании с углеродными лентами позволило компенсировать дефицит несущей способности узлов сопряжения, вызванный увеличением полезной нагрузки от эксплуатируемой кровли [5].



Рисунок 1 – Усиление колонн административного здания в Сберсити, Корпус А22 (Московская область, 2025 г.)

2. Дефекты в теле колонны (средняя зона). Эта зона испытывает совместное действие продольных сжимающих усилий и изгибающих моментов. Наиболее опасны здесь продольные трещины, свидетельствующие о достижении бетоном предельных деформаций, а также коррозионное разрушение защитного слоя, приводящее к потере совместной работы арматуры и бетона. Эффективным методом восстановления несущей способности в этой зоне является устройство замкнутой углеродной обоймы, создающей объемное напряженное состояние и ограничивающей поперечные деформации.

Подтверждением служит усиление колонн кинотеатра «Другар» в г. Пятигорске (2019 г.). Устройство замкнутой обоймы из углеродной ленты FibArm Tape 300/300 позволило восстановить несущую способность элементов, имевших дефицит прочности бетона и армирования, а также отклонение от вертикали (рис. 2). Объем усиления составил 350 м² [6].



Рисунок 2 – Усиление колонн кинотеатра «Другар»
(г. Пятигорск, ул. Панагюриште, 1А, 2019 г.)

3. Дефекты в базе колонны (зона сопряжения с фундаментом). Эта зона наиболее подвержена воздействию влаги и агрессивных сред из-за непосредственного контакта с грунтом и возможного капиллярного подсоса. Характерные дефекты: коррозия арматуры в зоне заделки, сколы бетона в углах, трещины, вызванные неравномерной осадкой. Повреждения в этой зоне наиболее критичны, так как они снижают устойчивость всей колонны и могут привести к внезапной потере несущей способности. Усиление этой зоны требует особого подхода: восстановление защитного слоя с использованием углеродных сеток FibArm Grid и, при необходимости, установка анкерных жгутов для связи колонны с фундаментом.

Эффективность подхода подтверждена при усилении колонн производственного корпуса молочного завода в г. Иваново (2024 г.) была применена комплексная система: ремонт защитного слоя бетона, монтаж углеродных лент и дополнительное армирование узлов сопряжения с фундаментом с использованием анкерных жгутов (рис. 3). Общая площадь усиления составила 5000 м², что подтвердило эффективность подхода в условиях промышленного объекта с агрессивной средой [6].



Рисунок 3 – Усиление колонн производственного корпуса молочного завода (г. Иваново 2024 г.)

Опыт применения композитных систем демонстрирует их успешное использование как на объектах гражданского строительства, так и на промышленных объектах. Универсальность технологии подтверждается реализованными проектами различного масштаба – от усиления отдельных колонн до комплексной реконструкции производственных корпусов [6].

На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Локализация дефектов – ключевой фактор выбора метода усиления. В отличие от плит перекрытий, для колонн определяющее значение имеет зона повреждения: оголовок, тело или база. Каждая зона требует дифференцированного подхода – от применения анкерных жгутов до устройства замкнутой углеродной обоймы.

2. Композитные системы превосходят традиционные методы. Усиление колонн с использованием углеродного волокна (система FibArm) обеспечивает высокую прочность, коррозионную стойкость и долговечность без увеличения поперечного сечения, что невозможно при устройстве железобетонных или металлических обойм.

3. Успех технологии определяется соблюдением регламента. Качественная подготовка поверхности (включая скругление

углов), строгий температурно-влажностный режим, квалифицированный персонал и, при необходимости, сертифицированная огнезащита – обязательные условия надежности усиления.

4. Практический опыт подтверждает эффективность. Реализованные проекты – от кинотеатра «Другар» до завода в Тамани и жилого комплекса «Шагал» – демонстрируют успешное применение технологии в широком диапазоне условий эксплуатации.

Дальнейшее развитие технологии связано с совершенствованием нормативной базы, расширением номенклатуры материалов и накоплением опыта применения в сложных инженерно-геологических и сейсмических условиях.

Список литературы

1. Гусев В.В., Иванов А.П., Сидоров А.А. Композитные материалы в строительстве: технологии и применение. – М. : Стройинформ, 2018. – 312 с.

2. Иванов А.П. Усиление железобетонных конструкций с помощью углеродных лент // Журнал строительной науки. – 2020. – № 5(2). – С. 45–52.

3. Петров Ю.В. Методы восстановления бетонных конструкций. – М. : Наука, 2019. – 240 с.

4. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.

5. Федеральные нормы и правила по промышленной безопасности и строительству (ФНП), 2021.

6. Материалы ООО «Композит-ТСС». Реализованные проекты усиления конструкций системой FibArm. – М., 2020–2025.

7. СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования.

8. Лебедев В.М. Коррозия арматуры в железобетонных конструкциях и методы защиты. – М. : АСВ, 2017. – 256 с.

9. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М. : АСВ, 2016. – 528 с.

10. Соколов Б.А. Ремонт и усиление строительных конструкций. – М. : Высшая школа, 2015. – 320 с.

11. Методические рекомендации по применению композиционных материалов для усиления строительных конструкций. – М. : НИЦ Строительство, 2020.

УДК 69.059

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ФАСАДОВ ЗДАНИЙ

Хохлова Софья Алексеевна

Кубанский государственный технологический университет,

студентка, Sof04jk@gmail.com

****

Аннотация. Рассмотрены полимерные композиционные материалы как перспективное решение для реконструкции зданий. Выполнен анализ основных видов композитов, включая стеклопластик, древесно-полимерный композит и металлопластики, с учетом их физико-механических свойств и ограничений. Оценено влияние применения композитов на снижение нагрузки на несущие конструкции и повышение энергоэффективности зданий. Описаны направления использования материалов при реконструкции фасадов, ремонте балконов и усилении конструкций. Выявлены основные барьеры внедрения композитов, включая вопросы пожарной безопасности и утилизации. Обозначены условия рационального применения полимерных композитов в программах комплексной реконструкции городской застройки.

Ключевые слова: полимерные композиты, реконструкция зданий, стеклопластик, древесно-полимерный композит, металлопластики, энергоэффективность, фасадные системы

В современной строительной отрасли все более востребованными становятся материалы, способные обеспечить легкость, высокую прочность и долговечность. Традиционные решения не всегда удовлетворяют этим требованиям, особенно в условиях реконструкции, где приходится работать с существующими конструкциями, часто имеющими ограниченный запас прочности. Полимерные композиты в этом контексте рассматриваются как перспективная альтернатива традиционным материалам. Они позволяют не только снижать нагрузку на не-

сущие элементы, но и решать специфические проблемы ослабленных конструкций, такие как коррозия и усталость материалов.

Полимерные композиционные материалы – это искусственно созданные гетерогенные структуры, состоящие из двух или более компонентов, один из которых является полимером. Основными составляющими полимерного композита выступают связующее (матрица) и наполнитель. Наполнитель может составлять до 98 % от общего объема материала. Он нужен для придания новых свойств материалу, снижения стоимости, облегчения переработки и последующей утилизации. В качестве наполнителей применяют широкий спектр материалов – от традиционных (мел, асбест) до современных (стеклянные и углеродные волокна, ткани, металлические и керамические частицы). По функциональному назначению их принято делить на армирующие (например, стекло- и углеволокно), воспринимающие основные механические нагрузки и структурные, которые добавляют преимущественно для удешевления материала.

Матрица может быть выполнена из чистого полимера либо содержать модифицирующие добавки, улучшающие эксплуатационные характеристики: красители, пластификаторы, стабилизаторы. Пластификаторы повышают гибкость и уменьшают хрупкость, стабилизаторы защищают от ультрафиолетового излучения и агрессивных сред, а красители обеспечивают необходимый цвет. Технология производства полимерных композитов определяется свойствами матрицы: ее жесткостью, эластичностью или пластичностью. В зависимости от этого наполнитель пропитывают полимером, наносят на него порошковое покрытие или создают многослойные структуры из внешних пластин и промежуточных связующих слоев [1].

Свойства и особенности полимерных композитов

1. Высокая удельная прочность и малый вес. В строительстве это свойство позволяет снижать нагрузку на несущие конструкции и фундаменты. При возведении новых зданий композиты дают возможность создавать облегченные перекрытия и ограждающие конструкции.

2. Коррозионная стойкость. В отличие от металлов, композиты не подвержены ржавчине, что особенно важно при экс-

плуатации зданий в условиях повышенной влажности, на побережьях, в промышленных зонах с агрессивной воздушной средой. Это свойство продлевает срок службы строительных конструкций и снижает затраты на их защиту и окраску.

3. Низкая теплопроводность. Композиты могут использоваться как элементы теплоизоляционного контура здания. Они уменьшают теплопотери через стены, кровлю и перекрытия, что способствует повышению энергоэффективности зданий и снижению расходов на отопление и кондиционирование.

4. Технологичность и возможность формования сложных конфигураций. Композиты позволяют изготавливать строительные элементы любой геометрической сложности: криволинейные панели, архитектурный декор, пространственные конструкции. Это расширяет архитектурные возможности и упрощает монтаж за счет уменьшения количества стыков и соединений.

5. Долговечность. Благодаря устойчивости к внешним факторам, полимерные композиты служат дольше, чем традиционные материалы. Поэтому оборудование с композитами в составе нужно реже ремонтировать

6. Экологичность и безопасность. Современные строительные композиты разрабатываются с учетом санитарно-гигиенических требований. Они не выделяют вредных веществ в процессе эксплуатации, а развитие технологий переработки позволяет вовлекать отходы композитов во вторичный оборот, снижая нагрузку на полигоны строительного мусора [2].

Виды полимерных композитов

1. Стеклопластик – наиболее распространенный и доступный вид композитов. Он изготавливается на основе стекловолокна и полиэфирной или эпоксидной смолы. Плотность стеклопластика составляет 1,5–2,0 г/см³ (1500–2000 кг/м³), что в 4–5 раз меньше плотности стали (7,8 г/см³) и в 2–3 раза меньше плотности алюминия (2,7 г/см³). Низкая плотность стеклопластика обеспечивает значительное снижение веса конструкций. Теплопроводность стеклопластика находится в пределах 0,2–0,5 Вт/(м·К), что значительно ниже, чем у металлов (сталь – 50 Вт/(м·К), алюминий – 200 Вт/(м·К)). Это свойство делает стеклопластик отличным теплоизоляционным материалом и позволяет использовать его в кон-

струкциях, где требуется снижение теплопотерь. К преимуществам материала можно отнести доступную цену и хорошую технологичность, к недостаткам – горючесть, которая требует введения специальных добавок, и выцветание под воздействием ультрафиолета. В фасадных системах стеклопластик применяется для изготовления фасадных панелей с гладкой или фактурной поверхностью, архитектурного декора, включая колонны и карнизы, а также элементов навесных вентилируемых фасадов [3].

2. Древесно-полимерный композит (ДПК) представляет собой композиционный материал, получаемый смешением древесной муки (измельченных древесных волокон) с полимерным связующим, в роли которого чаще всего выступают полиэтилен, полипропилен или поливинилхлорид. К основным преимуществам древесно-полимерного композита относятся эстетика натурального дерева при значительном снижении трудоемкости ухода, влагостойкость, биостойкость, а также стабильность размеров в условиях перепадов влажности. Недостатками ДПК являются меньшая механическая прочность по сравнению со стеклопластиком и углепластиком, что ограничивает его применение в нагруженных конструкциях. Материал подвержен выцветанию под воздействием ультрафиолета, хотя современные производители вводят в состав светостабилизаторы и красители, замедляющие этот процесс. Также ДПК имеет относительно высокий коэффициент термического расширения, что требует учета при проектировании протяженных фасадных систем.

В строительстве материал находит широкое применение в фасадных системах в качестве сайдинга (фасадной доски). Фасадные элементы из ДПК могут имитировать текстуру различных пород дерева и выпускаются в широкой цветовой гамме [4].

3. Металлопластики представляют собой класс слоистых композиционных материалов, в которых металлическая основа сочетается с полимерным покрытием или внутренним полимерным слоем. В строительстве наиболее широкое распространение получили алюминиевые композитные панели (АКП). К преимуществам материала относятся коррозионная стойкость и долговечность, широкие декоративные возможности, технологичность и простота монтажа. Недостатки связаны с физическими свой-

ствами алюминия: заметное термическое расширение требует обязательного учета при проектировании и устройства температурных зазоров между панелями. Тонкий алюминиевый лист уязвим к локальным ударным воздействиям, так как на поверхности могут оставаться вмятины. По стоимости алюминиевые композитные панели дороже пластикового сайдинга и традиционных штукатурных систем, что ограничивает их применение. В строительстве металлопластики применяются для облицовки навесных вентилируемых фасадов. При реконструкции зданий материал особенно востребован для обновления внешнего облика, маскировки дефектов старых стен и устройства современных вентилируемых систем с дополнительным утеплением.

Применение полимерных композитов при реконструкции зданий

Полимерные композиты находят широкое применение при реконструкции зданий благодаря своей легкости, технологичности и способности решать специфические задачи, с которыми традиционные материалы справляются хуже. Рассмотрим основные направления использования композитов в сфере реконструкции.

Одно из главных направлений использования полимерных композитов – снижение нагрузки на несущие конструкции и фундамент. Старые здания часто имеют ограниченный запас прочности, и любое дополнительное утяжеление фасада может привести к проблемам. Замена тяжелой цементно-песчаной штукатурки или облицовки из натурального камня на легкие композитные панели позволяет существенно разгрузить стены и фундамент.

Второе направление – утепление фасадов с сохранением или обновлением архитектурного облика. В системах навесных вентилируемых фасадов композитные панели выполняют роль облицовочного слоя. Они могут имитировать различные материалы: кирпичную кладку, натуральный камень, дерево и металл. Это позволяет решить задачу повышения энергоэффективности здания без потери эстетической привлекательности. Под облицовку размещается слой утеплителя необходимой толщины, а вентилируемый зазор обеспечивает удаление влаги. Технология применима как для жилых, так и для общественных зданий, включая объекты исторической застройки, где требуется деликатное обновление фасадов.

Третье направление – ремонт и реконструкция балконов и эркеров. Эти элементы часто находятся в неудовлетворительном состоянии из-за коррозии металлических ограждений или разрушения бетонных плит. Композитные материалы позволяют изготавливать легкие и долговечные ограждения, обшивку парапетов, декоративные элементы. Стеклопластик и древесно-полимерный композит не ржавеют, не гниют и не требуют регулярной покраски, что снижает затраты на последующее обслуживание. Малая масса таких конструкций особенно важна для балконов, несущая способность которых ограничена.

Четвертое направление – усиление несущих конструкций зданий. Здесь применяются высокопрочные композиты на основе углеродного волокна – углепластики. С их помощью можно укреплять стены, колонны, балки и перемычки без существенного увеличения сечения и веса конструкций. Технология заключается в наклейке углепластиковых лент или тканей на поверхность элементов. Материал берет на себя часть нагрузок, предотвращая образование трещин и дальнейшее разрушение. Это особенно актуально для зданий, где требуется сохранить геометрию помещений и не увеличивать нагрузку на фундамент.

Перспективы применения полимерных композитов в реконструкции зданий

В последние десятилетия наблюдается устойчивый рост популярности полимерных композитов в строительной отрасли. Это связано с их уникальными свойствами: высокой удельной прочностью, коррозионной стойкостью, возможностью создавать сложные формы и относительно низким весом. Архитекторы и проектировщики все чаще обращаются к композитам при поиске решений для реконструкции зданий, особенно в условиях плотной городской застройки и работы с объектами, имеющими ограниченную несущую способность.

Одним из ключевых направлений совершенствования композитов остается решение проблемы горючести. Производители активно вводят в состав материалов антипирены – добавки, снижающие горючесть и дымообразование [5]. Кроме того, разрабатываются композиции на основе негорючих полимерных матриц, что позволяет применять материалы на объектах с повышенными

требованиями пожарной безопасности, включая высотные здания и объекты массового пребывания людей.

Не менее важным аспектом является разработка методов утилизации и вторичной переработки композитов. Традиционные термореактивные смолы плохо поддаются переработке, однако развитие термопластичных матриц и методов химического рециклинга постепенно открывает новые возможности для утилизации таких материалов. Это особенно актуально на фоне ужесточения экологических требований [6].

Параллельно с технологическим развитием происходит расширение нормативной базы. В последние годы в России появились ГОСТы и своды правил, регламентирующие применение композитных материалов в фасадных системах. Это снимает барьеры для проектировщиков, которые ранее сталкивались с отсутствием утвержденных методик расчета и сертификации. Формирование полноценной нормативной базы способствует более широкому и уверенному внедрению композитов в практику строительства и реконструкции.

Таким образом, полимерные композиты представляют собой перспективный класс материалов для реконструкции зданий. Они особенно эффективны там, где критически важны малый вес облицовки, возможность воссоздания сложных архитектурных форм и устойчивость к агрессивным воздействиям городской среды. Композиты позволяют решать задачи, которые трудно или невозможно выполнить традиционными материалами: снижать нагрузку на фундаменты старых зданий, усиливать конструкции без увеличения сечения.

Вместе с тем существуют и барьеры, сдерживающие массовое внедрение этих материалов. Основными из них остаются относительно высокая стоимость по сравнению с традиционными решениями, вопросы пожарной безопасности, требующие тщательного подбора составов и конструктивных решений, а также недоверие со стороны части заказчиков и проектировщиков, привыкших работать с проверенными материалами. Преодоление этих барьеров возможно за счет дальнейшего развития технологий, расширения нормативной базы и накопления положительного опыта эксплуатации композитных фасадных систем.

Список литературы

1. УралБаск. Стеклопластик – что это за материал: свойства, плотность и области применения. – URL : https://уралбаск.рф/blog/stekloplastik-chto-eto-za-material-svoystva-i-primeneniye-v-2026-godu (дата обращения: 17.03.2026).

2. Хозин В.Г. Полимеры в строительстве: современное состояние и перспективы // Полимеры в строительстве: научный интернет-журнал. – 2014. – № 1(1). – С. 9–26.

3. Савин Н.С., Леонова А.Н. Особенности применения лент из углеродных волокон для увеличения несущей способности конструкций // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 2. – С. 158–161.

4. Полилаб СИБУР. Полимерные композиты: состав, свойства и области применения. – URL : https://polylab.sibur.ru/library/chto-takoe-polimernye-kompozity-i-kakie-izdeliya-iz-nikh-izgotavlivayut/ (дата обращения: 19.03.2026).

5. Калкан С.Н., Леонова А.Н. Особенности современных подходов при реконструкции фасадов жилых зданий // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 1. – С. 314–316.

6. Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К. Полимерные строительные материалы на основе поливинилхлорида // Полимеры в строительстве: научный интернет-журнал. – 2014. – № 1(1). – С. 29–48.

7. Селиверстов В.В., Князев А.С. Антипирены для полимерных материалов // Клеи. Герметики. Технологии. – 2023. – № 8. – С. 42–47.

8. Утилизация стеклопластиков на основе фенолформальдегидной смолы / С.С. Ившин, А.А. Ившина, А.В. Федоров [и др.] // Известия высших учебных заведений. Серия «Химия и химическая технология». – 2023. – Т. 66. – № 9. – С. 104–109.

9. Черная А.А., Антонов В.В., Леонова А.Н. Усиление строительных конструкций с помощью углеродных и композиционных материалов // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2026. – № 1. – С. 199–214.

УДК 624.012:624.014:681.3.06

ГЕНЕРАТИВНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ (GENERATIVE DESING) ОПТИМАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕЙ И ЭВОЛЮЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ

Чекменева П.А.[1], Филева В.А.[2], Усанов С.В.

[1,2,3]Кубанский государственный технологический университет,
[1,2]студент гр. 22-С-УС1,

[3]кандидат технических наук, доцент

****

Аннотация. В статье рассматривается современное состояние методов генеративного проектирования в строительной отрасли. Анализируются подходы к автоматизации поиска оптимальных конструктивных решений с использованием эволюционных алгоритмов и нейросетевых моделей. Приводятся данные о повышении эффективности проектирования за счет внедрения интеллектуальных методов. Особое внимание уделяется гибридным методикам, объединяющим достоинства генетических алгоритмов и глубокого обучения. Представлены результаты внедрения данных подходов при оптимизации различных типов строительных конструкций.

Ключевые слова: генеративное проектирование, нейросети, эволюционные алгоритмы, оптимизация конструкций, BIM-технологии, искусственный интеллект.

Современное строительное проектирование сталкивается с необходимостью обработки больших объемов данных и поиска эффективных решений в условиях множества ограничений. Традиционные методы проектирования, основанные на переборе ограниченного числа вариантов, часто не позволяют достичь оптимальных показателей материалоемкости и стоимости конструкций. По данным отраслевых исследований, до 70 % времени в процессе создания объекта приходится на этап проектиро-

вания, при этом значительная часть этого времени тратится на рутинные операции и итерационные согласования [1].

Генеративное проектирование представляет собой подход, при котором поиск оптимального решения выполняется автоматически на основе заданных параметров и критериев эффективности. В отличие от классического моделирования, где инженер вручную создает и проверяет каждый вариант, генеративные методы позволяют исследовать тысячи возможных конфигураций конструкции. Ключевую роль в этом процессе играют эволюционные алгоритмы, имитирующие механизмы естественного отбора, и нейросетевые модели, способные обучаться на накопленных данных и выявлять скрытые закономерности [2].

Цель здесь заключается в анализе современного состояния и эффективности применения методов генеративного проектирования, основанных на интеграции нейросетевых моделей и эволюционных алгоритмов, для оптимизации строительных конструкций, а также в оценке потенциала гибридных подходов для повышения ресурсоэффективности и сокращения сроков проектирования.

Методология генеративного проектирования строительных конструкций. Создание строительных конструкций методом генеративного проектирования требует поэтапного подхода. Первый шаг – это подготовка задачи путем определения переменных, которые будут подвергаться изменениям в процессе поиска. К таким переменным относятся геометрические размеры сечений, шаг несущих элементов, типы узловых соединений и другие характеристики. Второй этап предполагает формализацию целевых функций и ограничений: минимизация массы конструкции, обеспечение требуемой несущей способности, ограничение по прогибам и т.д.

Эволюционные алгоритмы, в частности генетические алгоритмы, являются наиболее распространенным инструментом генеративного поиска. Принцип их работы основан на моделировании процессов естественного отбора. Исходная популяция вариантов конструкций оценивается по заданным критериям, после чего лучшие решения «скрещиваются» между собой с элементами случайных «мутаций». Этот процесс повторяется многократно, что позволяет последовательно улучшать качество решений.

Важным преимуществом эволюционных методов является их способность находить глобальный оптимум в задачах со сложным ландшафтом целевой функции [3].

Нейросетевые подходы в генеративном проектировании представлены несколькими направлениями. Генеративно-состязательные сети (GAN) способны создавать новые варианты конструкций на основе обучающей выборки из уже реализованных проектов. Графовые нейронные сети (GNN) эффективны при работе с конструкциями, которые естественным образом описываются в виде графов (стержневые системы, фермы, каркасы зданий). Исследования показывают, что комбинация графовых нейронных сетей с генетическими алгоритмами позволяет достичь лучших результатов, чем использование каждого метода по отдельности [2].

Особого внимания заслуживает гибридная методология, где нейронные сети используются для значительного ускорения вычислительных процессов. Вместо многократного и ресурсоемкого конечно-элементного анализа для каждой итерации проектирования, нейросетевая модель способна с достаточной точностью предсказывать напряженно-деформированное состояние, что приводит к сокращению времени оптимизации на порядки.

Практическая реализация и примеры оптимизации. Интеграция методов генеративного проектирования в практику строительного проектирования осуществляется через специализированное программное обеспечение и платформы. Среда визуального программирования Dynamo Studio, работающая в связке с BIM-платформой Revit, позволяет создавать алгоритмические модели, автоматически генерирующие варианты компоновки несущих конструкций [4]. Другим распространенным инструментом является Grasshopper для Rhinoceros 3D с расширениями для топологической оптимизации [5].

В таблице 1 представлены результаты сравнительного анализа эффективности различных методов генеративного проектирования, полученные на основе анализа зарубежных исследований [3, 6].

Данные таблицы показывают, что наибольшая эффективность достигается при комбинировании методов. Так, при оптимизации железобетонных оболочек с использованием гибридного подхода

удалось снизить массу конструкции на 33.3 %, уменьшить максимальный прогиб на 50 % и снизить энергию деформации на 20 % по сравнению с базовым вариантом. При этом скорость сходимости оптимизационного процесса повысилась на 50 % [5].

Таблица 1 – Сравнение методов оптимизации строительных конструкций

Метод оптимизации	Снижение массы конструкций, %	Относительное время расчета	Применимость к сложным формам
Традиционный перебор вариантов	5–10	1.0	Ограниченная
Генетический алгоритм (NSGA-II)	15–25	0.6	Хорошая
Генеративно-состязательная сеть	10–20	0.2	Средняя
Гибридный метод (GAN + NSGA-II)	25–35	0.3	Высокая

Другое исследование, выполненное на примере оптимизации балочных перекрытий, показало возможность снижения стоимости конструкций от 2.7 % до 17 % при экономии бетона до 13.4 % и арматуры до 20.9 %. Время расчета одного варианта при этом составляло от 2 до 15 минут в зависимости от сложности модели [1].

Таблица 2 демонстрирует распределение экономического эффекта при внедрении генеративного проектирования на разных этапах создания объекта [1, 7].

Таблица 2 – Эффективность применения генеративного проектирования

Этап проектирования	Снижение трудоемкости, %	Основной источник экономии
Формирование планировочных решений	30–40	Автоматизация генерации вариантов
Расчет и подбор сечений	20–25	Оптимизация материалоемкости
Выпуск рабочей документации	15–20	Снижение количества ошибок
Согласование решений	25–35	Ускорение коммуникаций

Обсуждение результатов и ограничения метода. Использование генеративных подходов в разработке строительных конструкций открывает широкие перспективы, но сопряжено с опре-

деленными объективными трудностями. Нейросетевые архитектуры нуждаются в репрезентативных наборах данных для обучения, которые зачастую отсутствуют при работе с уникальными или нестандартными проектными решениями. Эволюционные алгоритмы, в свою очередь, не требуют предварительной подготовки, однако могут быть ресурсоемкими при высокой размерности пространства поиска.

Важным аспектом является интерпретируемость получаемых результатов. Нейросетевые модели часто работают по принципу «черного ящика», что затрудняет понимание причин, по которым выбрано то или иное решение. В этом смысле эволюционные алгоритмы предоставляют больше возможностей для анализа, так как позволяют проследить историю развития популяции и выявить закономерности [2].

Существующие программные реализации ориентированы преимущественно на регулярные конструктивные схемы и вертикальные нагрузки. Учет сейсмических воздействий, ветровых нагрузок и других динамических факторов остается сложной задачей, требующей дальнейших исследований [9].

Генеративное проектирование с использованием нейросетей и эволюционных алгоритмов представляет собой перспективное направление развития строительного проектирования. Гибридные методы, объединяющие достоинства различных подходов, позволяют достичь существенного снижения материалоемкости конструкций и сокращения сроков проектирования. Представленные в статье данные подтверждают возможность снижения массы конструкций на 25-35 % и трудоемкости проектирования на 20-40 % при сохранении требуемых прочностных характеристик.

Дальнейшее развитие методов связано с расширением классов решаемых задач, учетом динамических воздействий, а также интеграцией генеративных алгоритмов в сквозные процессы информационного моделирования зданий. Важной задачей остается разработка методов, сочетающих высокую скорость нейросетевого прогнозирования с интерпретируемостью эволюционных алгоритмов.

Список литературы

1. Применение ИИ для автоматизации проектирования сэкономит архитекторам до 40 % времени // CNews. 6 ноября

2025. – URL : https://ai.cnews.ru/news/line/2025-11-06_primenenie_ii_dlya_avtomatizatsii (дата обращения: 17.02.2026).

2. EvoDevo: Bioinspired Generative Design via Evolutionary Graph-based Development / F. Tahernezhad-Javazm, A. Colligan, I. Friel [et al.] // Algorithms. – 2025. – Vol. 18. – No. 8. – Article 467.

3. Accelerating multi-objective optimization of concrete thin shell structures using graph-constrained GANs and NSGA-II // 2025. – URL : https://doaj.org/article/206db28e425a4389abe34a49385fb3ee (дата обращения: 17.02.2026).

4. Юрошева Т.А. Оптимизация компоновки объектов строительства в пространстве методом генеративного дизайна с использованием среды разработки DYNAMO STUDIO // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2025. – Т. 52. – № 3. – С. 172–182.

5. Салех М.Т. Топологические оптимизации в архитектурном проектировании // Инновации и инвестиции. – 2024. – № 10. – С. 632–635.

6. Generative Design-Driven Optimization for Effective Concrete Structural Systems / H. Wefki, M. Salah, E. Elbeltagi [et al.] // Buildings. – 2025. – Vol. 15. – No. 15. – Article 2646.

7. Применение ИИ для автоматизации проектирования сэкономит архитекторам до 40 % времени // ComNews. 6 ноября 2025. – URL : https://www.comnews.ru/content/242195/2025-11-06/2025-w45/1018/primenenie-ii-dlya-avtomatizacii-proektirovaniya-sekonomit-arkhitektoram-do-40-vremeni (дата обращения: 17.02.2026).

8. EvoDevo: Bioinspired Generative Design via Evolutionary Graph-based Development / F. Tahernezhadjavazm, A. Colligan, I. Friel [et al.] // White Rose Research Online. – 2025. (In Press).

9. Generative Design-Driven Optimization for Effective Concrete Structural Systems // MDPI. 27 July 2025. – URL : https://www.mdpi.com/2075-5309/15/15/2646 (дата обращения: 17.02.2026).

Научное издание

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА И УСИЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Материалы Всероссийской
научно-практической конференции
(г. Краснодар, 4 марта 2026 г.)

Авторская редакция

Технический редактор – О.Я. Фоменко
Компьютерная верстка – М.Н. Гусева
Дизайн обложки – М.Б. Жаренко

Подписано в печать 04.03.2026
Бумага офсетная
Печ. л. 9,38
Усл. печ. л. 8,72
Уч.-изд. л. 7,85

Формат 60×84 1/16
Печать трафаретная
Изд. № 1449
Тираж 100 экз.
Заказ № 2660

ООО «Издательский Дом – Юг»
350010, г. Краснодар, ул. Зиповская, 9, литер «Г», оф. 41/3
тел. +7(918) 41-50-571

e-mail: id-yug@id-yug.com Сайт: https://id-yug.com